

Libro digital

Física Mecánica

Aplicaciones y experiencias

Cristian Solano Mazo
David Vera Mellao
Eliceo Cortes Gómez
Aldemar De Moya Camacho



CORPORACIÓN
**UNIVERSIDAD
DE LA COSTA**
1970

VIGILADA MINEDUCACIÓN

FISICA MECÁNICA

Aplicaciones y experiencias

Física Mecánica: Aplicaciones y experiencias / Cristian Solano Mazo,
David Vera Mellao, Eliceo Cortes, Aldemar de Moya Camacho. –
Barranquilla: Corporación Universidad de la Costa, 2018
ISBN: 978-958-8921-82-2 (Digital)
ISBN: 978-958-8921-81-5 (Impreso)
109 páginas, gráficos
1. Física matemática 2. Física – Mediciones 3. Mecánica
ondulatoria

530.15 M486

Esta obra es propiedad intelectual de sus autores y los derechos de publicación han sido legalmente transferidos al editor. Queda prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del propietario de los derechos del copyright©

FISICA MECÁNICA

Aplicaciones y experiencias

Cristian Solano Mazo

David Vera Mellao

Eliceo Cortes Gómez

Aldemar De Moya Camacho



2018



Física Mecánica.

Aplicaciones y experiencias

Cristian Solano Mazo
David Vera Mellao
Eliceo Cortes Gómez
Aldemar De Moya Camacho

ISBN: 978-958-8921-82-2 (Digital)
ISBN: 978-958-8921-81-5 (Impreso)

Primera Edición

Corporación Universidad de la Costa, CUC

Diseño, diagramación
y corrección de estilo
Editorial Universitaria de la Costa,
EDUCOSTA, S.A.S.
Teléfono: (575) 336 2222
educosta@cuc.edu.co

Fotografías: Carlos Cervantes
Eusebio Jiménez

Retoque
digital: Adrian Velasquez

Lauren J. Castro Bolaño
Gerente EDUCOSTA S.A.S.

Hecho el depósito que exige la ley.

DEDICATORIAS

A Dios, sobre todas las cosas.

A nuestros padres:

Sin duda alguna a los seres que nos brindaron su apoyo a lo largo de nuestras vidas a través de sus consejos y persistencia para que siguiéramos adelante con nuestras metas y proyectos motivándonos siempre por apropiarnos del conocimiento que hoy poseemos.

A nuestros hijos (as):

Porque son realmente la fuerza motriz de nuestras acciones para alcanzar nuestros objetivos, quien nos anima para mirar siempre al frente y continuar con nuestro camino.

A nuestros estudiantes:

Porque son quienes nos motivan para brindarles lo mejor de nosotros como sus docentes para su pleno desarrollo profesional.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a la Universidad de la Costa y al departamento de Ciencias Naturales y Exactas, quienes permitieron abrir el espacio para proponer este libro en medio de los planes de calidad académica que se vienen desarrollando. Bajo este impulso, se viene elaborando distintos libros que ayuden al que hacer docente.

Deseamos hacer público un especial agradecimiento a la Vicerrectoría Académica de la Universidad de la Costa y a la Editorial EDUCOSTA por las orientaciones que a lo largo de este trabajo nos ofrecieron, permitiendo realizar un material aterrizado a las necesidades actuales.

Queremos expresar nuestro agradecimiento al profesor Aldemar de Moya, quien como director de Departamento de Ciencias Naturales y Exactas y coparticipe en esta obra, siempre ha apoyado estas iniciativas y aportado con horas de trabajo a concretar los objetivos.

Finalmente, el más sincero agradecimiento al equipo de autores por su esfuerzo y dedicación, haciendo posible este libro, además, a nuestras familias, objeto de nuestra motivación constante para seguir adelante.

Prólogo

El propósito de este libro es fortalecer los conocimientos conceptuales a través de la experimentación en el laboratorio teniendo un enfoque práctico en el manejo de los equipos del laboratorio de física mecánica, con la ayuda del software Capastone, y los actuales equipos del laboratorio de la compañía PASCO. Así, como la manipulación de datos a través de cálculos y gráficos para la obtención de las diferentes variables y comprobación de los diferentes principios y leyes físicas relacionados con el curso de física mecánica. Cabe destacar la importancia del manejo de los equipos de laboratorios por parte de futuros ingenieros, los cuales se deben mantener actualizados y siempre a la vanguardia de la tecnología dado el crecimiento exponencial de las tecnologías de la información y los equipos tecnológicos. Razón por la cual, el estudiante de hoy día debe relacionarse con dichos instrumentos desde sus inicios para poder desarrollar y aplicar técnicas que le sean de utilidad en sus proyectos y labores futuras.

En este libro se tratan temas fundamentales de un curso de física mecánica, desde cinemática hasta conservación del momento lineal, cada tema es explicado con los conceptos asociados, relacionados por medio de la experimentación propuesta e ilustrados con ejemplos y ejercicios propuestos.

Finalmente, se reconoce el esfuerzo realizado por los autores en la dedicación del texto y montaje de cada una de las experiencias aquí propuestas. Así como el agradecimiento al equipo editorial por sus contribuciones y apoyo. Esperamos que este libro sea una herramienta de trabajo implementado por los docentes del departamento de Ciencias Naturales y Exactas en los procesos de enseñanza como guía para los estudiantes en su proceso de aprendizaje.

Los autores

CONTENIDO

Introducción	19
Presentación	21
Capítulo 1	
Mediciones directas e indirectas	23
I. Introducción	24
II. Cálculo de errores en mediciones directas	24
III. Cálculo de errores en mediciones indirectas	28
IV. Análisis gráfico de un comportamiento lineal	30
V. Calibrador y sus partes	32
VI. Ejercicios propuestos	34
Experiencia No. 1	35
Referencias	39
Capítulo 2	
Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado	41
I. Introducción	42
II. Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA)	42
III. Ejercicios propuestos	48
Experiencia No. 2	49
Referencias	51
Capítulo 3	
Segunda Ley de Newton	53
I. Introducción	54
II. Segunda ley de Newton	54
III. Ejercicios propuestos	58
Experiencia No. 3	59
Referencias	62

Capítulo 4

Tercera Ley de Newton	63
I. Introducción	64
II. Tercera Ley de Newton	64
III. Ejercicios propuestos	66
Experiencia No. 4	67
Referencias	69

Capítulo 5

Dinámica del Movimiento Circular	71
I. Introducción	72
II. Movimiento Circular Uniforme (MCU)	72
III. Fuerza Centrípeta	73
IV. Ejercicios propuestos	76
Experiencia No. 5	77
Referencias	79

Capítulo 6

Teorema del trabajo y la energía cinética	81
I. Introducción	82
II. Conceptos de trabajo - energía	82
III. Ejercicios propuestos	86
Experiencia No. 6	87
Referencias	90

Capítulo 7

Conservación del momento lineal	91
I. Introducción	92
II. Conservación del Momento lineal	92
III. Ejercicios propuestos	94
Experiencia No. 7	95
Referencias	97

Capítulo 8

Impulso y cantidad de movimiento	99
I. Introducción	100
II. Impulso y cantidad de movimiento	100
III. Ejercicios propuestos	102
Experiencia No. 8	103
Referencias	105
Conclusiones	107
Recomendaciones	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1	Toma de datos para un muestreo	27
Tabla 1. 2	Datos de n repeticiones del mismo experimento de distancia y tiempo	29
Tabla 1. 3	Datos de distancia y tiempo para un movimiento rectilíneo uniforme	29
Tabla 1. 4	Datos de velocidad y tiempo para un movimiento rectilíneo uniforme	29
Tabla 1. 5	Medidas de diferente masa y volumen de una sustancia X	31
Tabla 1. 6	Datos tomados de altura, diámetro y masa de un cilindro	34
Tabla 1. 7	Diámetro y masa de una esfera	36
Tabla 1. 8	Diámetro, altura y masa de un cilindro	36
Tabla 1. 9	Error porcentual de la densidad	37
Tabla 1. 10	Método 1. Error porcentual de la densidad experimental respecto al teórico	38
Tabla 1. 11	Método 2. Error porcentual de la densidad experimental respecto al teórico	38
Tabla 2. 1	Datos de posición y tiempo de un carrito deslizándose por un riel inclinado	44
Tabla 2. 2	Datos linealizados de posición – tiempo.	45
Tabla 2.3	Ajuste lineal para mínimos cuadrados	46
Tabla 2. 4	Datos de tiempo y posición para un carrito moviéndose por un riel inclinado	48
Tabla 2. 5	Aceleración método 1	50
Tabla 2. 6	Aceleración método 2	50

Tabla 3. 1	Datos de masa suspendida variable, tensión y aceleración	55
Tabla 3. 2	Datos de aceleración contra $\text{sen } \theta$	57
Tabla 3. 3	Datos de masa suspendida constante, tensión y aceleración	58
Tabla 3. 4	Datos de fuerza, masa y aceleración.	60
Tabla 3. 5	Datos de a contra $\text{sen } \theta$	61
Tabla 5. 1	Datos de radio y velocidad angular de un movimiento circular	74
Tabla 5. 2	Datos de $m\omega^2$ y $1/r$	75
Tabla 5. 3	Datos de relación entre ω , v y r	76
Tabla 5. 4	Datos de masas y fuerza centrípeta	78
Tabla 5. 5	Radio y velocidad angular.	78
Tabla 5. 6	Relación de inverso del radio, masa y velocidad angular	78
Tabla 6. 1	Datos obtenidos en la experiencia	85
Tabla 6. 2	Datos obtenidos de desplazamiento y velocidad	86
Tabla 6. 3	Datos masa y tensión del sistema	87
Tabla 6. 4	Relación entre desplazamiento, energía cinética y área bajo la curva	88
Tabla 7. 1	Relación de masas y velocidades antes y después de la colisión	93
Tabla 7. 2	Datos de momento lineal y energía cinética calculados	93
Tabla 7. 3	Datos de masas y velocidades antes y después de la colisión	94
Tabla 7. 4	Radio, velocidad angular y velocidad lineal.	96
Tabla 7. 5	Datos de momento lineal y energía cinética calculados experimentalmente	96

Tabla 8. 1	Relación de impulso y cantidad de movimiento	102
Tabla 8. 2	Datos de velocidades e impulso	102
Tabla 8. 3	Datos experimentales de impulso y cantidad de movimiento	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Comportamiento de la masa y volumen de una de una sustancia X	32
Figura 1.2	Vernier y sus partes	33
Figura 1.3	Escala del vernier	33
Figura 1.4	Escala del vernier	34
Figura 1.5	Esferas plásticas	35
Figura 1.6	Cilindros plásticos	36
Figura 2.1	a) Posición, b) velocidad y c) aceleración contra tiempo para un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado	43
Figura 2.2	Carril inclinado para movimiento uniformemente acelerado	44
Figura 2.3	Posición contra tiempo	44
Figura 2.4	Linealización de la gráfica posición contra tiempo	45
Figura 3.1	Esquema para segunda ley de Newton	55
Figura 3.2	Tensión contra aceleración del sistema	56
Figura 3.3	Esquema riel inclinado para análisis de la gravedad	57
Figura 3.4	Gráfica de aceleración contra $\sin \theta$	58
Figura 4.1	Montaje para demostrar la tercera ley de Newton	65
Figura 4.2	Datos obtenidos en la experiencia, tiempo y par de fuerzas acción-reacción	65
Figura 5.1	Representación gráfica de la velocidad y la aceleración radial en el movimiento circular uniforme	73
Figura 5.2	Movimiento circular de una masa	75
Figura 5.3	Relación entre velocidad angular contra inverso del radio	76

Figura 6.1	Sistema de pasas que se desplazan a través de una polea para análisis de trabajo – energía	83
Figura 6.2	Ilustración de la tensión T en la cuerda en función del desplazamiento de la masa m_1	84
Figura 6.3	Comportamiento de la energía cinética ΔK en función del desplazamiento Δx	85
Figura 7.1	Montaje experimental conservación de momento lineal	95
Figura 8.1	Esquema de impulso entre dos carritos	101
Figura 8.2	Relación de fuerza – tiempo para un choque	101

INTRODUCCIÓN

La Física es la ciencia natural más básica, esta consta de conceptos, leyes y teorías que el ser humano ha desarrollado a lo largo de la historia con el fin de comprender, explicar y manejar la naturaleza, ya sea para beneficio propio o por simple curiosidad. Este es el caso de la Física Mecánica, que mediante leyes que fueron desarrolladas desde el siglo XVI se han dado explicación a fenómenos que no podían explicarse, pero, aun más que eso, la física ha permitido a áreas como la ingeniería o la medicina, desarrollar nuevos métodos que han mejorado la calidad de vida del ser humano, desde un diseño de una casa hasta la puesta en órbita de la estación espacial internacional, todo tiene una fundamentación física.

En este libro, se ha intentado condensar en temas selectos la física Mecánica experimental que un estudiante de ingeniería debe saber para abordar su vida profesional y tomar posteriormente otras asignaturas de su ciclo profesionalizante, en gran medida, los conocimientos de física que el estudiante adquiera garantizan su buen desempeño en otras asignaturas.

Es por ello la motivación en la elaboración de este libro, el cual contiene conceptos previos que el estudiante requiere para mejorar su comprensión de la física mecánica desde una manera práctica consolidado a través de la experimentación permitiéndole al estudiante desarrollar de manera rápida las competencias necesarias para afrontar situaciones de la vida real en su campo profesional.

PRESENTACIÓN

Este libro está orientado a fortalecer los procesos de enseñanza y aprendizaje de la física mecánica a través de la experimentación en instituciones de educación superior donde posean equipos de laboratorios; contribuyendo con docentes y estudiantes al aprendizaje a través de un material de estudio para su desarrollo académico en la física mecánica. Este texto contiene temas conceptuales propios de cada una de las experiencias de laboratorio con ejemplos prácticos y ejercicios propuestos, ya que con ellos es posible comprender de manera más sencillo esta parte de la ciencia.

La intención de este libro es la de presentar un material que los estudiantes puedan utilizar en sus laboratorios como una guía en la manipulación de los equipos y de los análisis que pueden realizar con la adquisición de datos, es decir, que el material se utilice como la ruta de cada estudiante para el análisis de preguntas conceptuales de la física mecánica.

La mayor contribución de esta obra radica en el aprendizaje autónomo que puede tener el estudiante al analizar conceptos de física mecánica de manera grupal con sus compañeros, por lo que, una interacción entre experimentación y socialización de ideas grupales fortalece el conocimiento del estudiante.

CAPÍTULO 1	23
MEDICIONES DIRECTAS E INDIRECTAS	24
I. INTRODUCCIÓN	24
II. CÁLCULO DE ERRORES EN MEDICIONES DIRECTAS	24
III. CÁLCULO DE ERRORES EN MEDICIONES INDIRECTAS	28
IV. ANÁLISIS GRÁFICO DE UN COMPORTAMIENTO LINEAL	30
V. CALIBRADOR Y SUS PARTES	32
VI. EJERCICIOS PROPUESTOS	34
EXPERIENCIA No. 1	35
REFERENCIAS	39

MEDICIONES DIRECTAS E INDIRECTAS

I. Introducción

Normalmente en nuestra vida cotidiana y sin tener conocimiento de ello, hacemos uso del concepto de mediciones directas e indirectas, por ejemplo, cuando medimos el largo de una carretera, la altura de una pared o la masa de un cuerpo, estamos realizando medidas directas, el valor numérico obtenido de estas mediciones se logra de la interacción misma con el objeto a medir, pero ¿qué es medir? La respuesta es muy sencilla, medir es utilizar una escala previamente calibrada en la propiedad a medir y compararla con cualquier objeto que tengamos indicio que presente esa propiedad, obteniendo de esto un valor numérico (un instrumento calibrado podría ser un flexómetro, una balanza, un termómetro entre otros, si no es un instrumento calibrado podríamos pensar en la longitud de su pie, la cuarta de su mano, una varilla de longitud conocida, etc). Por otro lado, existe el caso de querer conocer el tamaño de la tierra, el área de un terreno o la capacidad de un tanque cilíndrico, pero no tenemos un instrumento que compare directamente con estos objetos dado su enorme tamaño o sus características, para estos casos es necesario realizar medidas indirectas, esto se logra mediante la solución de una ecuación que utiliza las dimensiones, formas u otra característica medible directamente. En las siguientes secciones estudiaremos los detalles de esos tipos de medidas y la forma como se deben plasmar los resultados.

II. Cálculo de errores en mediciones directas

Si realizamos un experimento nos damos cuenta de que por cada vez que repetimos el mismo procedimiento las medidas oscilan en valores muy pequeños unas con respecto a otras (esperaríamos que no variaran) aun cuando el montaje y los instrumentos son los mismo, esto nos obliga a ela-

borar una tabla donde podamos plasmar todas las medidas producto de las repeticiones. Pero, aun bajo este “inconveniente” el conjunto de datos registrados nos da una idea del valor real de la propiedad física medida. Esto se debe a que la oscilación en las medidas es producto de fenómenos aleatorios o ambientales imperceptibles que afectan al experimento en su conjunto. Pero aún bajo esa dificultad, nada impide conocer el valor real o una aproximación aceptable al valor real que se pretendía medir, es así como recurrimos al concepto de valor promedio o media de este conjunto de datos, mediante la relación:

$$\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^N L_i}{N} = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + \cdots + L_n}{n - veces} \quad (1.1)$$

Donde $L_1, L_2 \dots L_n$ corresponden a cada medición realizada a la propiedad de interés (se toma la letra L con el fin de familiarizarnos con la medición más común que es la longitud de un objeto). \bar{L} es el valor promedio o media calculada. En este sentido, la media es el valor promedio calculado de un conjunto de datos muy parecidos numéricamente obtenidos de experimentos que miden repetidamente la misma propiedad física. Podemos decir que la media es el valor que debería estar más cerca al valor real de la propiedad física que pretendemos conocer.

Pero, ¿cuán cercano esta la media del valor real a conocer?, esta pregunta inquieta mucho a los investigadores, ingenieros y estudiantes, dado que podemos tener una media e imaginarnos que está cerca del valor real pero no saber cuan cerca (o lejos) de ese valor está, por eso utilizamos un nuevo concepto llamado desviación estándar, este se define como:

$$\Delta L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{L} - L_i)^2}{N}} \quad (1.2)$$

La desviación estándar nos indica numéricamente la incertidumbre o lejanía que un conjunto de medidas tiene al oscilar alrededor del valor real que no se puede alcanzar en las medidas hechas. En este sentido, esta cantidad es de gran importancia dado que nos da una idea del intervalo en que puede estar ubicado el valor real alrededor de la media obtenida, definiendo la medida de ahora de adelante como:

$$L = \bar{L} \pm \Delta L \quad (1.3)$$

La desviación estándar de una muestra nos restringe a unas consideraciones mínimas de 10 o más datos para poder tener una estadística aceptable. De esta forma el valor real de la propiedad que se pretende conocer, estará en un 68% de probabilidad en un intervalo comprendido entre $\bar{L} + \Delta L$ y $\bar{L} - \Delta L$, y en un 95% de probabilidad de encontrarse entre $\bar{L} + 2\Delta L$ y $\bar{L} - 2\Delta L$, eso significa que tener un valor pequeño de ΔL nos garantiza contar con mayor certeza de encontrar el valor real de forma más exacta en un intervalo muy restringido.

Otra forma cómoda de representar la incertidumbre es mediante la desviación o error porcentual, esta nos da una idea estadística de encontrar o ubicar el valor real dentro de un conjunto de datos lejanos de la media en un valor porcentual, esto lo expresamos como:

$$\% \mathcal{E}_r = \frac{\Delta L}{\bar{L}} \times 100\% \quad (1.4)$$

Conocido estos aspectos de la aplicación de la estadística a mediciones reales es necesario recordar que la L en todas las ecuaciones anteriores se puede libremente cambiar por la letra de la nueva propiedad física que se esté estudiando, como es el caso de a para aceleración o v para velocidad entre otras variables.

Por otra parte, es pertinente conocer que la realización de un experimento y la medida de las propiedades físicas relacionadas con el experimento se conoce como universo, dado que el número de datos a obtener es infinita, lo que obliga a hacer un sin número de medidas, pero como nuestro tiempo en la práctica es limitado, entonces realizamos un procedimiento en un intervalo específico de tiempo llamado muestreo, este nos permite obtener un número finito de datos llamado muestra (la muestra se organiza en tablas como se comentó anteriormente), y es en este punto donde se aclara que el número de datos (tamaño de la muestrea) debe ser lo suficiente para que la media y la desviación estándar representen de mejor manera la propiedad física a medir. Para muestras grandes, la media es más cercana al valor real y la desviación estándar es muy pequeña, mientras que, para muestras pequeñas, la media puede alejarse del valor real a conocer y la desviación estándar tiende a ser grande (ocasionando un error porcentual grande), estadísticamente se considera que una muestra debe tener un mínimo de 10 datos por propiedad medida, aunque hacer un pequeño esfuerzo para tener más datos, beneficiaría

en alcanzar mejores resultados en la estadística. Por ejemplo, Para llevar a la práctica esta teoría, utilizaremos como datos (muestra) de una experiencia de laboratorio que se realizó tomando medidas de tiempo (muestreo de tiempo) cada vez que giraba 20 veces un mecanismo, los resultados se plasmaron en la Tabla 1.1:

TABLA 1. 1
TOMA DE DATOS PARA UN MUESTREO

No de repeticiones	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tiempo(s) por cada repetición	2.92	2.93	2.95	2.89	2.96	2.91	2.93	2.94	2.91	2.92

Procedemos a realizar la media de las medidas con el fin de conocer el valor que más se acerca al valor real, de acuerdo con la ecuación 1.1.

$$\bar{t} = \frac{2.92s + 2.93s + 2.95s + 2.89s + 2.96s + 2.91s + 2.93s + 2.94s + 2.91s + 2.92s}{10} = 2.92s$$

Podemos observar que el cronometro con que se hicieron las medidas arroja resultados hasta de dos decimales, eso significa que, aunque la calculadora con que se haga el promedio arroje más, debemos colocar solo el mismo número de decimales que entrego el instrumento, ósea 2 decimales. Esto se debe a que los cálculos deben tener hasta el tamaño más pequeño que es capaz de ofrecer el instrumento que recoge dos datos.

Para conocer ahora, que tan lejos está el valor real de la media que obtuvimos con una probabilidad del 68%, realizamos la desviación estándar a través de la ecuación 1.2.

$$\Delta t = \sqrt{\frac{0.0042}{10 - 1}} = 0.02s$$

En el caso de la desviación estándar se debe colocar el mismo número de decimales que la media calculada, es decir, con dos decimales. De esta forma la medida de tiempo para el fenómeno descrito anteriormente es igual a $t = (2.92 \pm 0.02)s$, para conocer el error estadístico porcentual, realizamos:

$$\% \mathcal{E}_r = \frac{\Delta L}{L} \times 100\% = \frac{0.02}{2.92} \times 100\% = 0.68\%$$

Por lo que observamos nuestros datos se encuentran con un error del 0.68% respecto al valor medio, lo cual quiere decir que se realizaron unas buenas medidas.

III. Cálculo de errores en mediciones indirectas

Sucede el caso que luego de obtener una muestra a partir de un experimento con un conjunto de n datos (o pares de datos) representados en una tabla, nos vemos obligados a utilizar una ecuación que nos indica que debemos calcular el valor de una nueva propiedad física utilizando los valores de la muestra, pero a su vez, para la nueva variable debemos expresar el resultado de la misma forma de las medidas directas, es decir, $x = \bar{x} \pm \Delta x$. Para abordar este caso aplicamos la estadística para cálculos o medidas indirectas, al tomar una ecuación común y muy conocida como ejemplo (la ecuación de velocidad promedio de un movimiento rectilíneo uniforme) expresada como:

$$v = \frac{x}{t} \tag{1.5}$$

Donde x es la longitud recorrida y t el tiempo de medida de esa longitud recorrida. Se supondremos que antes de utilizar la ecuación 1.5 se han obtenido los resultados expresados como $x = \bar{x} \pm \Delta x$ y $t = \bar{t} \pm \Delta t$ para un número hipotético de datos y luego nuestro objetivo es obtener el valor calculado de velocidad $v = \bar{v} \pm \Delta v$. Para esto, realizamos los siguientes pasos:

1. Se calcula para cada par de datos de medida directa, el valor de velocidad respectivo; $v_1 = x_1/t_1$, $v_2 = x_2/t_2$... y así sucesivamente obteniendo una nueva columna (en la tabla de datos) con el mismo número de pares de datos de medida directa.
2. Calculamos la media \bar{v} y la desviación estándar Δv de la nueva propiedad física calculada.

TABLA 1. 2
DATOS DE N REPETICIONES DEL MISMO EXPERIMENTO DE DISTANCIA Y TIEMPO

t	t_1	t_2	\cdot	\cdot	t_n
x	x_1	x_2	\cdot	\cdot	x_n
$v = x / t$	v_1	v_2	\cdot	\cdot	v_n

Fuente: Autores.

El cálculo de la media y desviación estándar puede ser realizado en cuestión de segundos en una hoja de Excel, por lo cual se recomienda realizarlo luego de entender el procedimiento analítico paso a paso. Consideremos una toma de datos de distancia y el tiempo de un móvil sobre un riel en alcanzar cada distancia partiendo desde la posición inicial $x_i = 0$, los resultados obtenidos de la práctica se muestran en la Tabla 1.3.

TABLA 1. 3
DATOS DE DISTANCIA Y TIEMPO PARA UN MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME

$x(m)$	0.13	0.26	0.40	0.53	0.66	0.79	0.93	1.06	1.19
$t(s)$	0.60	1.05	1.82	2.34	3.10	3.52	4.20	4.67	5.36

El movimiento rectilíneo uniforme se caracteriza por mantener constante el valor de la velocidad en iguales intervalos de tiempo, para esto utilizamos la ecuación

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{(x_f - x_i)}{(t_f - t_i)}$$

Obteniendo la Tabla 1.4 (teniendo en cuenta que el primer tiempo y la primera distancia es 0, estos cálculos se pueden hacer con la ayuda de Excel)

TABLA 1. 4
DATOS DE VELOCIDAD Y TIEMPO PARA UN MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME

$v(m/s)$	0.23	0.29	0.17	0.26	0.17	0.32	0.20	0.28	0.19	0.22
$t(s)$	0.60	1.05	1.82	2.34	3.10	3.52	4.20	4.67	5.36	6.05

Se observa una ligera variación de la velocidad entre un valor y otro, aunque la teoría nos indica que siempre debe dar el mismo valor, esto no es un problema, dado que la variación se debe a errores en la medida del tiempo, dado por distintos factores, incluyendo el humano, es en estos casos muy importante la estadística, al permitirnos obtener el valor más cercano al real (media) y su desviación por la ecuación 1.1 y 1.2,

$$\bar{v} = \frac{0.23 + 0.29 + 0.17 + 0.26 + 0.17 + 0.32 + 0.20 + 0.28 + 0.29 + 0.22}{10} = 0.23 \text{ m/s}$$

$$\Delta v = \sqrt{\frac{0.0269}{9}} = 0.003 \text{ m/s}$$

Por tanto, la velocidad de forma completa tiene el valor de $v = (0.230 \pm 0.003) \text{ m/s}$ expresado en la forma de error porcentual obteniendo $v = 0.23 \text{ m/s} \pm 1.30\%$, un muy buen error para este experimento. Se recomienda que los errores porcentuales sean menores al 10%, dado que un error pequeño garantiza contar con una media cerca del valor real a obtener, si no es el caso que quede dentro del 10%, estaríamos en la obligación de repetir el experimento hasta obtener errores relativos por debajo o igual al 10%.

IV. Análisis gráfico y analítico de un comportamiento lineal

Existen experimentos donde el proceso a seguir es cambiar una variable mediante algún método experimental, como, por ejemplo, aumentar paulatinamente el tiempo o variando la corriente, esto origina un muestreo sobre propiedades variables ocasionando que otras varíen con alguna proporción. Estos datos se organizan en tablas (como ya se ha sugerido) que al ser representados en una gráfica evidencian la existencia de una línea recta o comportamiento lineal. Para comprender mejor, utilicemos el siguiente ejemplo, consideremos medidas realizadas de diferente masa y volumen de una sustancia X con una balanza de sensibilidad de 0.1 g y una probeta graduada de sensibilidad 1.0 ml ($1 \text{ ml} = 1 \text{ cm}^3$), si seguimos los pasos adecuadamente y vamos variando la masa de la sustancia, observamos que el volumen también varía, obteniendo así los datos que se reportan en la Tabla 1.5.

TABLA 1. 5
MEDIDAS DE DIFERENTE MASA Y VOLUMEN DE UNA SUSTANCIA X.

Masa (g)	38.0	84.0	113.0	159.0	182.0
Volumen (cm ³)	48.2	86.4	123.9	161.6	193.4
Densidad (g/cm ³)	0.79	0.97	0.91	0.98	0.94

En la Tabla 1.5 también se determinaron los valores de la densidad para cada dato de masa y volumen a través de la relación,

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.6)$$

Utilizando la ecuación (1.1) y la Tabla 1.5 se puede obtener el valor promedio de la densidad como,

$$\bar{\rho} = \frac{0.79 + 0.97 + 0.91 + 0.98 + 0.94}{5} = 0.92 \text{ g/cm}^3$$

Por otro lado, el valor de la incertidumbre de la densidad se obtiene con la ecuación (1.2) teniendo en cuenta los 5 datos de la Tabla 1.5.

$$\Delta\rho = \sqrt{\frac{(0.92 - 0.79)^2 + (0.92 - 0.97)^2 + (0.92 - 0.91)^2 + (0.92 - 0.98)^2 + (0.92 - 0.94)^2}{4}}$$

$$\Delta\rho = \sqrt{\frac{0.023}{4}} = 0.08 \text{ g/cm}^3$$

Por lo cual, la densidad real en la medida se puede expresar como un valor central \pm incertidumbre,

$$\rho = (0.92 \pm 0.08) \text{ g/cm}^3$$

Al graficar los datos de la Tabla 1.5 entre masa y volumen observamos evidentemente la tendencia de un comportamiento lineal, como lo ilustra la Figura 1.1.

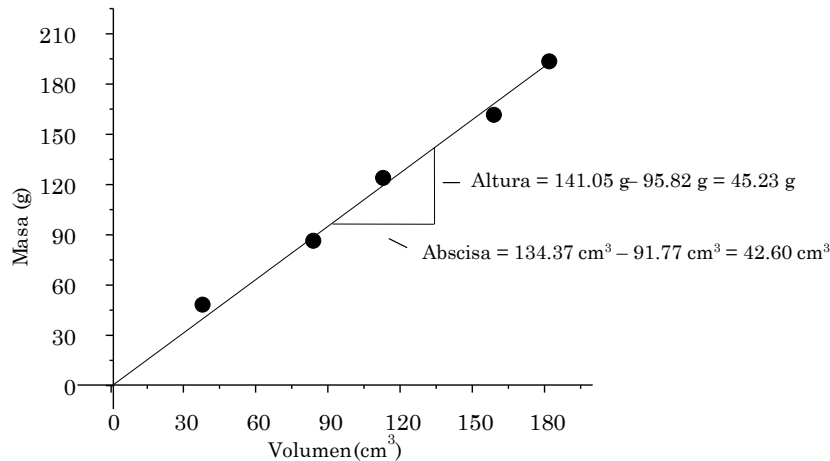


Figura 1.1 Comportamiento de la masa y volumen de una de una sustancia X.

Una manera de encontrar la densidad de esta sustancia X también puede ser a través de la Figura 1.1 obteniendo la pendiente de este comportamiento como,

$$\bar{\rho} = \text{Pendiente} = \frac{45.23}{42.60} \text{ g/cm}^3 = 1.06 \text{ g/cm}^3$$

Por tanto $\bar{\rho} = 1.06 \text{ g/cm}^3$, valor muy cercano al obtenido por la ecuación (1.1).

V. Calibrador y sus partes

Uno de los instrumentos de medición útil para medir a pequeña escala objetos pequeños es el llamado calibrador, también conocido como *pie de rey* o *vernier*, este es un instrumento que permite medir profundidades, dimensiones internas y externas, este instrumento posee dos escalas, una inferior en milímetros y la otra superior en pulgadas tal como se ilustra en la Figura 1.2.

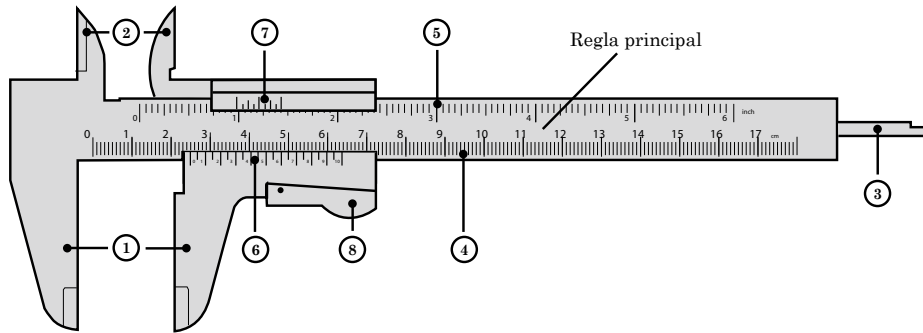


Figura 1.2 Vernier y sus partes

A continuación, se indica en que consiste cada una de sus partes de acuerdo con el esquema del calibrador.

1. Es útil para realizar mediciones en superficies externas.
2. Se utiliza para realizar mediciones en superficies internas.
3. Esta varilla se usa para medir profundidades.
4. Escala principal en milímetros.
5. Escala principal en pulgadas.
6. Escala de vernier (también llamado nonio) en milímetros.
7. Escala de vernier en pulgadas.
8. Botón de fijación.

Para realizar las mediciones con este instrumento se debe contar cuantos milímetros (o centímetros) ha recorrido el cero de la escala del nonio, en caso de que el recorrido del cero no sea exacto (no coincida con un milímetro de la regla principal) se debe identificar una de las divisiones del nonio con la regla principal.

Si la primera raya del nonio coincide con una raya de la regla principal como en el caso de la siguiente figura la lectura corresponde a 0.6 cm los cuales corresponden a las 6 rayas que ha recorrido el nonio en la regla principal.

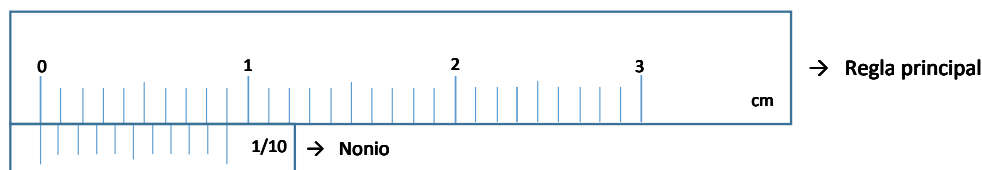


Figura 1.3 Escala del vernier

En el caso en que la lectura no sea exacta, se debe tener en cuenta la escala del nonio que para este caso tiene una división de $1/10 \text{ mm} = 0.01 \text{ cm}$, es decir, cada raya del nonio representa 0.01 cm en la medida. En la siguiente lectura la media corresponde a 1.17 cm .

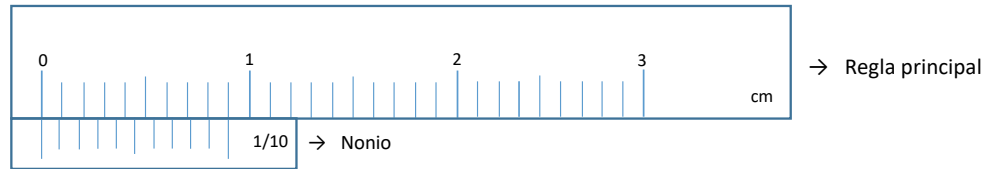


Figura 1.4 Escala del vernier

Donde se deben contar primero $1 \text{ cm} + 0.1 \text{ cm} + 0.01 \text{ cm} = 1.17 \text{ cm}$ correspondiendo a la cantidad de unidades que pasó la primera raya del nonio, la división de la unidad (en este caso en 10 partes iguales) y la división del nonio (en este caso en 10 partes iguales) respectivamente.

VI. Ejercicios propuestos

Un estudiante de ingeniería desea conocer el valor del volumen de un cilindro, realiza 4 mediciones de altura y diámetro con un vernier de sensibilidad de $\pm 0.05 \text{ cm}$ y masa con una balanza de sensibilidad $\pm 0.1 \text{ g}$. Estas medidas son reportadas en la siguiente Tabla 1.6.

TABLA 1. 6
DATOS TOMADOS DE ALTURA, DIÁMETRO Y MASA DE UN CILINDRO

No	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Masa (g)
1	3.45	1.34	20.1
2	3.46	1.35	20.1
3	3.45	1.35	20.1
4	3.47	1.34	20.1

A partir de la Tabla 1.6 determine el valor central \pm incertidumbre y error porcentual del volumen del cilindro.

MEDICIONES DIRECTAS E INDIRECTAS

UNIVERSIDAD DE LA COSTA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

EXPERIENCIA No. 1
MEDICIONES DIRECTAS E INDIRECTAS
LABORATORIO DE FÍSICA MECÁNICA

FECHA			GRUPO
DÍA	MES	AÑO	

NOMBRES:

1. *Objetivos*

Determinar a través del concepto de medición y cálculo de errores, el valor de la densidad de esferas y cilindros.

2. *Equipo y/o elementos a utilizar*

Calibrador (1) ○ balanza (1) ○ juego de esferas y cilindros (1).

3. *Actividades de la experiencia*

3.1 Tomar cuatro esferas de plástico transparente de diferente tamaño del set, tal como lo muestra la Figura 1.5.



Figura 1.5 Esferas plásticas

Luego medir el valor del diámetro y masa para cada esfera utilizando el vernier y la balanza, posteriormente repórtelas en la Tabla 1.7.

TABLA 1. 7
DIÁMETRO Y MASA DE UNA ESFERA

Esfera	Masa (g)	Diámetro (cm)	Densidad (g/cm ³)
1			
2			
3			
4			

3.2 De acuerdo con la ecuación (1.6) determinar el valor de la densidad de la esfera para cada par de datos de masa y volumen mostrados en la Tabla 1.7.

3.3 Escojer 4 cilindros plásticos negros del set como lo muestra la Figura 1.6.

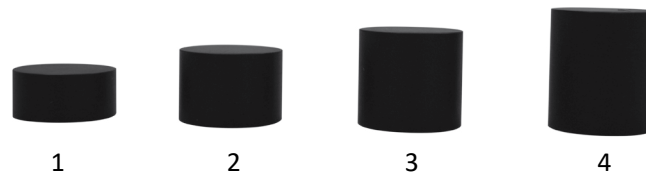


Figura 1.6 Cilindros plásticos

3.4 Medir el valor de diámetro, altura y masa para cada uno de los cilindros, luego reportarlos en la Tabla 1.8.

TABLA 1. 8
DIÁMETRO, ALTURA Y MASA DE UN CILINDRO

Cilindro	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)
1				
2				
3				
4				

4. Cálculo y análisis de preguntas

4.1 Método 1.

De acuerdo con la ecuación (1.1), la ecuación (1.2) y la Tabla 1.7 determinar el valor central \pm incertidumbre (con dos decimales) de la densidad de la esfera. (Nota. Usar el volumen de la esfera: $V = 4/3 \pi r^3$)

$$\rho = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ g/cm}^3$$

4.2 Método 1.

De acuerdo con la ecuación (1.1), la ecuación (1.2) y la Tabla 1.7 determinar el valor central \pm incertidumbre (con dos decimales) de la densidad de la esfera. (Nota. Usar el volumen del cilindro: $V = \pi r^2 h$)

$$\rho = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ g/cm}^3$$

4.3 Método 1.

Determinar los errores porcentuales de la densidad del cilindro y la esfera con respecto a las incertidumbres en la medida ¿A qué factor asocia estos errores?

TABLA 1. 9
ERROR PORCENTUAL DE LA DENSIDAD

Material	% ϵ_r
Esfera	
Cilindro	

4.4 Método 2.

Realizar un gráfico de Masa vs Volumen con los datos de la Tabla 1.7 y la Tabla 1.8. ¿Qué tipo de gráfico corresponde su comportamiento en cada caso? ¿Qué puede decir acerca de la pendiente de este gráfico?

4.5 Método 2.

De la gráfica realizada en la parte 4.4 obtener el valor promedio de la densidad (g/cm^3) de la esfera (con dos decimales) utilizando el valor de la pendiente.

$$\rho = \underline{\hspace{2cm}}$$

4.6 Método 2.

De la gráfica realizada en la parte 4.4 obtener el valor promedio de la densidad (g/cm^3) del cilindro (con dos decimales) utilizando el valor de la pendiente.

$$\rho = \underline{\hspace{2cm}}$$

4.7 Con respecto al valor teórico, determinar el error porcentual a través de la ecuación (1.7) y por los dos métodos calculados, densidad de la esfera y cilindro, luego repórtarlos en la Tabla 1.10 y la Tabla 1.11 respectivamente.

$$\% \mathcal{E}_r = \frac{|V_{\text{Teórico}} - V_{\text{observado}}|}{V_{\text{Teórico}}} \times 100 \quad (1.7)$$

TABLA 1.10

MÉTODO 1. ERROR PORCENTUAL DE LA DENSIDAD EXPERIMENTAL RESPECTO AL TEÓRICO

Material	$\rho_{\text{teo}}(\text{g/cm}^3)$	$\rho_{\text{exp}}(\text{g/cm}^3)$	$\% \mathcal{E}_r$
Esfera	1.15		
Cilindro	1.40		

TABLA 1.11

MÉTODO 2. ERROR PORCENTUAL DE LA DENSIDAD EXPERIMENTAL RESPECTO AL TEÓRICO

Material	$\rho_{\text{teo}}(\text{g/cm}^3)$	$\rho_{\text{exp}}(\text{g/cm}^3)$	$\% \mathcal{E}_r$
Esfera	1.15		
Cilindro	1.40		

5. Conclusiones de la experiencia

Referencias

- [1] S. Zemansky & Y. Freedman. Física universitaria con física moderna, vol. 1, décima tercera edición, Pearson educación, México, 2013.
- [2] R. A. Serway & J. W. Jewett, Física para ciencias e ingenierías, vol. 1, séptima edición, Cengage Learning, 2008.
- [3] Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific Model SE-9719.

HOJA DE CALCULO

CAPÍTULO 2	41
MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE ACELERADO	42
I. INTRODUCCIÓN	42
II. MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE ACELERADO (MRUA)	42
III. EJERCICIOS PROPUESTOS	48
EXPERIENCIA No. 2	49
REFERENCIAS	51

Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado

I. Introducción

El estudio de los movimientos de los cuerpos es de vital importancia para conocer el comportamiento de nuestro entorno, desde las partículas elementales (escala microscópica) hasta el movimiento de los planetas en el espacio (escala macroscópica). Uno de los movimientos fundamentales que podemos analizar a través de la cinemática es el movimiento con velocidad variante en el tiempo, esta característica de movimiento comúnmente la llamamos “Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado”. El interés por describir el movimiento de los cuerpos fue inicialmente intervenido por uno de los pensadores de la época, polímata y filósofo Aristóteles (Estagira 384 a.C–Calcis 322 a.C) quien dio algunas ideas y conceptos básicos del movimiento rectilíneo uniforme (con velocidad constante), no fue sino hasta cuando Galileo (1564–1642) contribuyó al estudio de movimiento rectilíneo gracias al movimiento de las esferas sobre planos inclinados. Gracias a estos aportes se ha podido comprender de una manera más sencilla la descripción del movimiento de los cuerpos aplicándolos a otros campos de la ciencia que de cierta manera describen o ayudan a comprender diferentes fenómenos naturales.

II. Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA)

El Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA) es caracterizado por una partícula que se mueve en línea recta y velocidad variable con el tiempo, esto implica que la partícula presenta aceleración, en este caso, consideramos que la aceleración es constante (no cambia con el tiempo), es decir, que la razón del cambio de velocidad y cambio del tiempo no presentan variación, esto lo podemos definir con la siguiente expresión,

$$\vec{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad [m/s^2] \quad (2.1)$$

Por otro lado, la velocidad media de la partícula se puede obtener como la razón entre desplazamiento y el intervalo de tiempo, se escribe esta como,

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} \quad [m/s] \quad (2.2)$$

Una manera de analizar este movimiento es a través del comportamiento de posición, velocidad y aceleración contra tiempo, tal como se ilustran en la siguiente Figura 2.1.

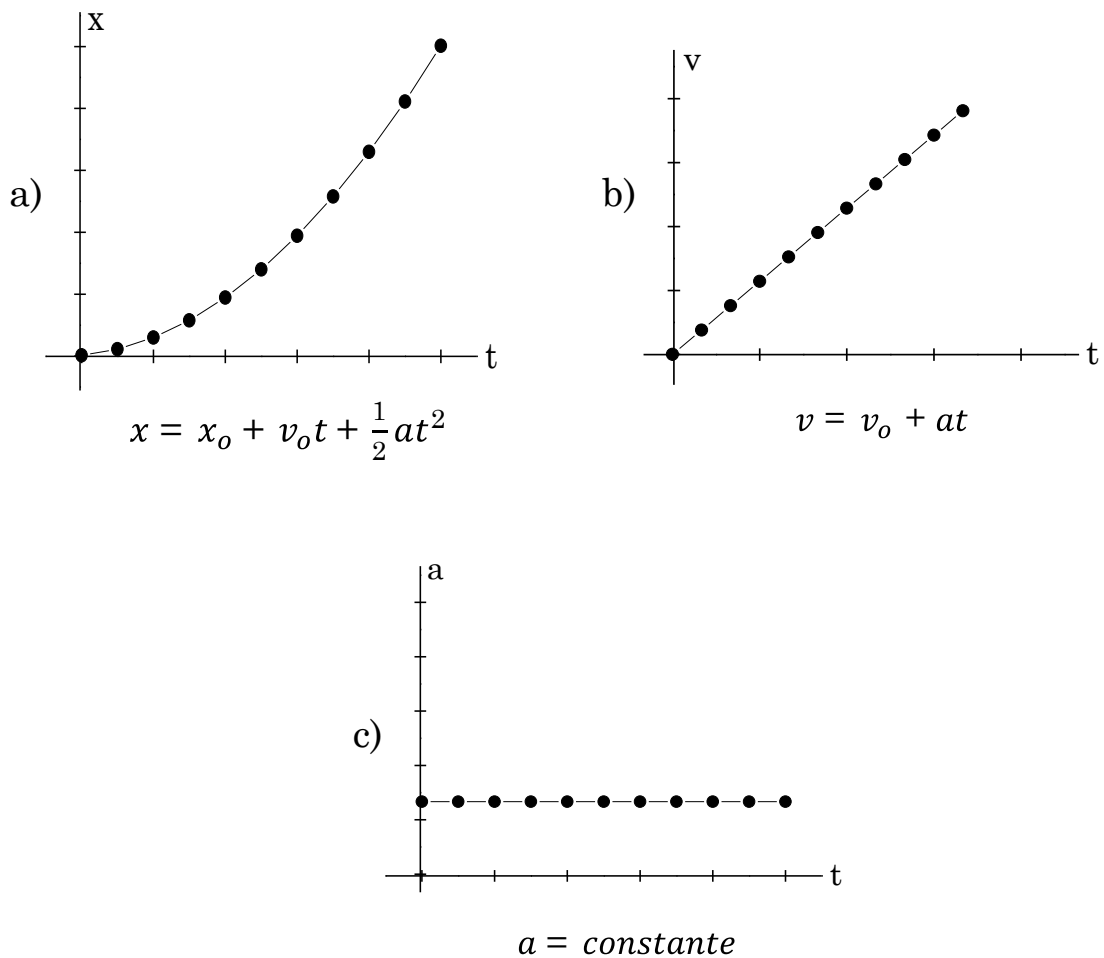


Figura 2.1 a) Posición, b) velocidad y c) aceleración contra tiempo para un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

En la práctica pensemos que tomamos una serie de datos de posición y tiempo de un carrito que se desplaza a través de un plano inclinado a cierto ángulo como muestra la Figura 2.2.

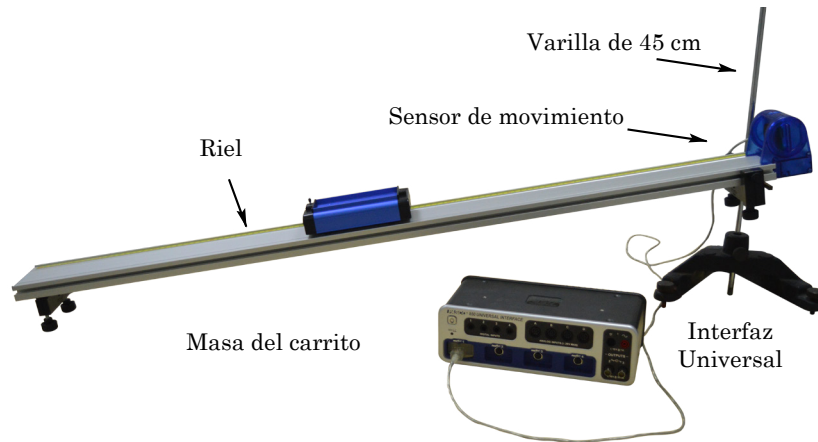


Figura 2. 2 Carril inclinado para movimiento uniformemente acelerado

Los datos obtenidos a través del sensor de movimiento para la medida de posición y tiempo se presentan en la Tabla 2.1:

TABLA 2. 1
DATOS DE POSICIÓN Y TIEMPO DE UN CARRITO DESLIZÁNDOSE POR UN RIEL INCLINADO

t (s)	0	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600
x (cm)	0	0.849	3.446	7.801	13.798	21.431	30.902

Al realizar una gráfica de posición contra tiempo, observamos claramente en la Figura 2.3 un comportamiento de una parábola, la cual corresponde a un movimiento uniformemente acelerado. Conocido esto, podemos linealizar la función para obtener el valor correspondiente de la aceleración.

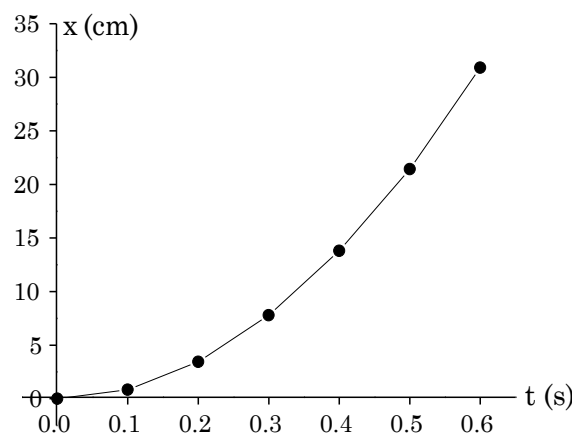


Figura 2.3 Posición contra tiempo

Dado que el modelo matemático de este comportamiento obedece a la ecuación mostrada en la Figura 2.1 a) podemos linealizar la función de la siguiente manera:

$$x = x_o + v_o t + \frac{1}{2} a t^2 \Rightarrow \frac{x - x_o}{t} = +v_o + \frac{1}{2} a t$$

Asumiendo de acuerdo con la Tabla 2.1 que en $t = 0$, $x_o = 0$, la expresión queda de la forma $x/t = v_o + \frac{1}{2} a t$ por lo que calculamos los valores x/t demostrados en la Tabla 2.2.

TABLA 2. 2
DATOS LINEALIZADOS DE POSICIÓN – TIEMPO.

t (s)	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60
x/t (cm/s)	8.49	17.23	26.00	34.50	42.86	51.50

Si graficamos estos nuevos datos de la Tabla 2.2, esperamos obtener un comportamiento lineal donde la pendiente de esta recta corresponda al valor de la aceleración partido por la mitad. Este puede ser representado por la Figura 2.4.

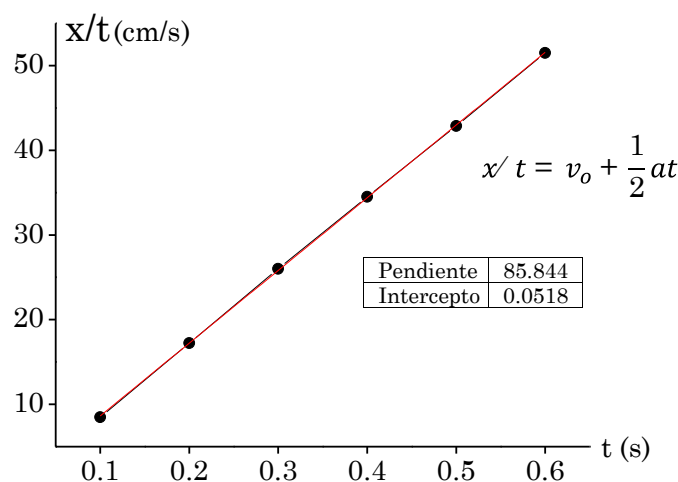


Figura 2.4 Linealización de la gráfica posición contra tiempo

Dado que la gráfica de posición contra tiempo confirma ser un MRUA por presentar una parábola, podemos seguir en analizar la gráfica de x/t contra tiempo (Tabla 2.2) para determinar de ésta el valor de la pendiente y el intercepto, estos pueden ser obtenidos a través de mínimos cuadrados como:

$$m = \frac{n(\Sigma x_i y_i) - (\Sigma x_i)(\Sigma y_i)}{n(\Sigma x_i^2) - (\Sigma x_i)^2} \quad (2.3)$$

$$b = \frac{(\Sigma y_i) - m(\Sigma x_i)}{n} \quad (2.4)$$

Siendola m la pendiente de la recta (para este caso $1/2 \alpha$) y b el intercepto con el eje vertical (en este caso corresponde a v_0). Por otro lado, es posible determinar la incertidumbre del valor de la pendiente y el intercepto, estas expresiones son respectivamente:

$$\Delta m = \frac{\gamma \sqrt{n}}{\sqrt{n(\Sigma x_i^2) - (\Sigma x_i)^2}} \quad (2.5)$$

$$\Delta b = \Delta m \sqrt{\frac{\Sigma x_i^2}{n}} \quad (2.6)$$

Siendo $\gamma = \sqrt{\frac{\Sigma (y_i - mx_i - b)^2}{n-2}}$

Teniendo en cuenta los valores de la Tabla 2.2 y comparando con las variables en las ecuaciones (2.3) a la (2.4) se escribe una nueva Tabla 2.3 para calcular todas estas variables.

TABLA 2.3
AJUSTE LINEAL PARA MÍNIMOS CUADRADOS

n	x_i	y_i	x_i^2	$x_i y_i$	$\Sigma (y_i - mx_i - b)^2$
	t	$z = x/t$	t^2	zt	$\Sigma (z - mt - b)^2$
6	0.10	8.49	0.01	0.85	0.02
	0.20	17.23	0.04	3.45	0.00
	0.30	26.00	0.09	7.80	0.04
	0.40	34.50	0.16	13.80	0.01
	0.50	42.86	0.25	21.43	0.01
	0.60	51.50	0.36	30.90	0.00
Σ	2.10	180.58	0.91	78.23	0.09

De la ecuación (2.3) se obtiene el valor de la pendiente y reemplazando los valores de la Tabla 2.3 se obtiene:

$$m = \frac{1}{2} a_o = \frac{6(78.23) - (2.10)(180.58)}{6(0.91) - (2.10)^2} = \frac{90.162}{1.05} \approx 85.86$$

Por tanto, la aceleración se puede calcular como $a_o = 2(85.86) \text{ cm/s}^2 \rightarrow a_o = 171.72 \text{ cm/s}^2$.

El valor de la incertidumbre de la pendiente se puede calcular con la ecuación (2.6) como se muestra seguidamente:

$$\Delta m = \left(\frac{1}{2}\right) \Delta a = \frac{\gamma \sqrt{6}}{\sqrt{6(0.91) - (2.10)^2}}$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{0.09}{6 - 2}} = \sqrt{0.0225} \approx 0.15$$

Retomando la incertidumbre de la pendiente.

$$\Delta m = \left(\frac{1}{2}\right) \Delta a = \frac{0.15 \sqrt{6}}{\sqrt{6(0.91) - (2.10)^2}} = \frac{0.15 \sqrt{6}}{\sqrt{1.05}} \approx 0.36$$

Por lo que, la incertidumbre de la aceleración es $\Delta a = 2(0.36) \text{ cm/s}^2 \rightarrow \Delta a = 0.72 \text{ cm/s}^2$.

Luego, el valor de la aceleración con su incertidumbre corresponde a:

$$a = (171.72 \pm 0.72) \text{ cm/s}^2$$

El error porcentual del cálculo de la aceleración puede ser calculado:

$$\% \varepsilon_r = \left(\frac{\Delta a}{a_o} \times 100 \right) \% \Rightarrow \% \varepsilon_r = \left(\frac{0.72}{171.72} \times 100 \right) \% \Rightarrow \% \varepsilon_r = 0.4\%$$

Por otro lado, el valor del intercepto se puede calcular utilizando la ecuación (2.4).

$$b = v_o = \frac{(180.58) - 85.86(2.10)}{6} = 0.046 \text{ cm/s}$$

Por tanto, el valor de la velocidad inicial corresponde a $v_o = 0.046 \text{ cm/s}$.

La incertidumbre de la intercepción se determina con la ecuación (2.6) como:

$$\Delta b = \Delta v_o = \Delta m \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}} = (0.36) \sqrt{\frac{0.91}{6}} = 0.14 \rightarrow \Delta v_o = 0.140 \text{ cm/s}$$

El valor de la velocidad inicial se escribe como:

$$v_o = (0.046 \pm 0.140) \text{ cm/s}$$

III. Ejercicios propuestos

Un estudiante de ingeniería realiza una práctica de laboratorio donde hace deslizar un carrito por un riel inclinado. El estudiante logra determinar los diferentes tiempos para posiciones de 20 cm en 20 cm tal como se muestra en la siguiente Tabla 2.4.

TABLA 2. 4
DATOS DE TIEMPO Y POSICIÓN PARA UN CARRITO MOVIÉNDOSE POR UN RIEL INCLINADO

t (s)	0	1.16	1.58	1.93	2.29	2.58	2.82
x (cm)	0	20.00	40.00	60.00	80.00	100.00	120.00

A partir de estos datos determine el valor central \pm incertidumbre de la aceleración y velocidad inicial del carrito.

MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE ACELERADO

UNIVERSIDAD DE LA COSTA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

EXPERIENCIA No. 2
MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE ACELERADO
LABORATORIO DE FÍSICA MECÁNICA

FECHA			GRUPO
DÍA	MES	AÑO	

NOMBRES:

1. *Objetivos*

Analizar el movimiento uniformemente acelerado de un carrito deslizándose por un plano inclinado.

2. *Equipo y/o elementos a utilizar*

Interfaz universal 850 (1) ○ sensor de movimiento (1) ○ riel de aluminio (1) ○ carrito metálico (1) ○ juegos de pesas (1) ○ computador y software (1) ○ transportador (1).

3. *Actividades de la experiencia*

- 3.1 Cerciorarse que las conexiones del sensor de movimiento estén conectadas a la interfaz universal 850.
- 3.2 Inclinar el riel a un ángulo entre 2° y 5° utilizando el indicador de ángulo.
- 3.3 Colocar el sensor de movimiento en el extremo del riel, en el otro extremo coloque la defensa magnética para frenar el carrito.
- 3.4 Encender la interfaz y el computador conectado a ella, luego abrir el software de Pasco y verificar la conexión de la interfaz en la configuración del hardware.
- 3.5 En la plantilla del software colocar dos gráficas, una de posición contra tiempo y otra de velocidad contra tiempo.

- 3.6 En la plantilla ingrese en condiciones de grabación → condición de inicio → tipo de condición → origen de datos → colocar 0.20, luego ingrese a condición de detención → tipo de condición → origen de datos → valor 0.70 m.
- 3.7 Realice la toma de datos dejando deslizar el carrito desde el punto de referencia (de acuerdo con el paso anterior, referencia 15 cm del sensor de movimiento).
- 3.8 Haga un ajuste de los datos tomados de la gráfica de posición contra tiempo y de velocidad contra tiempo. En ambas, ilustre las ecuaciones de ajustes de cada uno.

4. Cálculo y análisis de preguntas

- 4.1 Con los datos tomados de la gráfica de posición contra tiempo, determine el valor de la pendiente usando mínimos cuadrados, para esto, debe extraer la tabla de datos de esta gráfica en la plantilla.
- 4.2 Con ayuda del paso 4.1 determine el valor de la aceleración como un valor central \pm incertidumbre, utilizando la ecuación 2.3 y 2.5.

TABLA 2. 5
ACELERACIÓN MÉTODO 1

$a_o (m)$	$\Delta a (m)$

A partir de estos datos determine el error experimental tomado de la ecuación 1.4.

- 4.3 De la gráfica de velocidad contra tiempo determine el valor de la aceleración del carrito a través del software de Pasco Capston realizando el ajuste lineal tomando el valor de su pendiente e incertidumbre, de éste determine el error porcentual de la medida.

TABLA 2. 6
ACELERACIÓN MÉTODO 2

$a_o (m)$	$\Delta a (m)$

- 4.4 Compare el valor de la aceleración por los dos métodos calculados. ¿Cuál método garantiza el mejor cálculo? ¿Cómo puedo saber esto?

4.5 ¿Que puedo decir del comportamiento de los valores iniciales de la velocidad en función del tiempo?

5. *Conclusiones de la experiencia*

Referencias

- [1] S. Zemansky & Y. Freedman. Física universitaria con física moderna, vol. 1, décima tercera edición, Pearson educación, México, 2013.
- [2] R. A. Serway & J. W. Jewett, Física para ciencias e ingenierías, vol. 1, séptima edición, Cengage Learning, 2008.

CAPÍTULO 3	53
SEGUNDA LEY DE NEWTON	54
I. Introducción	54
II. Segunda ley de Newton	54
III. Ejercicios propuestos	58
Experiencia No. 3	59
Referencias	62

Segunda Ley de Newton

I. Introducción

Al tener la necesidad de explicar la causa del movimiento de los cuerpos, se nos viene a la mente el físico inglés Isaac Newton (1673 – 1727), una de las mentes más brillantes que dio respuesta a interrogantes como por ejemplo ¿por qué los cuerpos se mueven como lo hacen? De sus múltiples aportes Newton estableció tres leyes fundamentales que abarcan básicamente la Dinámica, inicialmente la primera ley también llamada Ley de inercia (inercia es la capacidad de los cuerpos a oponerse al cambio de estado de reposo o de movimiento) establece que la sumatoria de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo (ya sea que esté en reposo o moviéndose en línea recta con velocidad constante) son iguales a cero, es decir, esta ley establece que si un cuerpo está en reposo quedará en reposo o si se está moviendo a velocidad constante el seguirá moviéndose a esa velocidad, a menos que actúe una fuerza ajena y lo haga cambiar de ese estado. Por otro lado, la segunda ley relaciona la fuerza, masa y aceleración de un cuerpo, esta ley establece que a mayor masa menor será su aceleración mientras se mantenga la fuerza constante, por último mencionamos la tercera ley de Newton, la cual podemos llamar ley acción–reacción, ésta establece que un cuerpo A interacciona con un cuerpo B, después de la interacción (choque) entre estos dos cuerpos las fuerzas que experimenta cada uno tendrán la misma magnitud pero en direcciones opuestas, es de aclarar, que esta ley sólo es válida para interacciones entre cuerpos diferentes donde cualquiera de los dos puede ser acción o reacción. En esta experiencia se espera comprobar la relación entre masa–fuerza y como afecta esta relación en la aceleración de movimiento.

II. Segunda ley de Newton

En la experiencia de MRUA se analizó el movimiento del carrito deslizándose por el riel, hasta este momento solo nos interesaba como se movía, como cambiaba su posición, su velocidad y aceleración. Si deseamos conocer ahora por qué el carrito se mueve como lo hace y cuál es la causa que su velocidad este variando

SEGUNDA LEY DE NEWTON

con el tiempo, entonces es necesario conocer la segunda ley de Newton para tal explicación. Si consideramos el movimiento del cuerpo como MRUA, la segunda ley de Newton relaciona el cociente de la fuerza neta sobre un cuerpo con la masa, dando como resultado una constante de movimiento llamada aceleración, tal como muestra la siguiente ecuación:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad [m/s^2] \quad (3.1)$$

Donde \vec{F} es el vector fuerza neta, m la masa del cuerpo y \vec{a} su aceleración.

Consideremos el sistema mostrado en la Figura 3.1, donde el carrito (para este caso como ejemplo la masa tiene un valor de 650 g) se desliza horizontalmente debido al peso suspendido a través de una cuerda de masa despreciable.

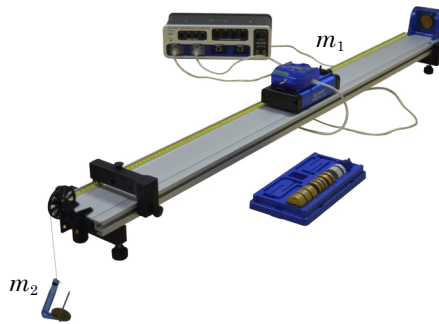


Figura 3. 1 Esquema para segunda ley de Newton

En el sistema, si variamos la masa suspendida, la tensión y la aceleración cambian, por ejemplo, consideremos un sistema de medición donde podemos obtener datos de tensión y aceleración para cada masa suspendida como se muestran en la Tabla 3.1.

TABLA 3. 1
DATOS DE MASA SUSPENDIDA VARIABLE, TENSIÓN Y ACELERACIÓN

m_2 (kg)	0.025	0.045	0.065	0.085	0.105	0.125
T (N)	0.234	0.413	0.586	0.742	0.877	1.019
a (m/s ²)	0.242	0.446	0.734	0.872	1.280	1.460

Podemos hacer un análisis entre tensión y aceleración. De acuerdo con la Figura 3.1 y la segunda ley de Newton se puede escribir la siguiente expresión:

$$T - f_k = m_1 a \quad (3.2)$$

Donde f_k es la fuerza de rozamiento cinético entre las llantas del carrito y el riel, teniendo en cuenta $f_k = \mu N = \mu_k m_1 g$ se puede reescribir la ecuación 3.2:

$$T = m_1 a + \mu_k m_1 g \quad (3.3)$$

Esta expresión muestra evidentemente un comportamiento lineal entre tensión y aceleración con pendiente igual a la masa del carrito m_1 . Por otro lado, el intercepto de esta dependencia lineal representa la constante $\mu_k m_1 g$. La Figura 3.2 confirma lo indicado anteriormente.

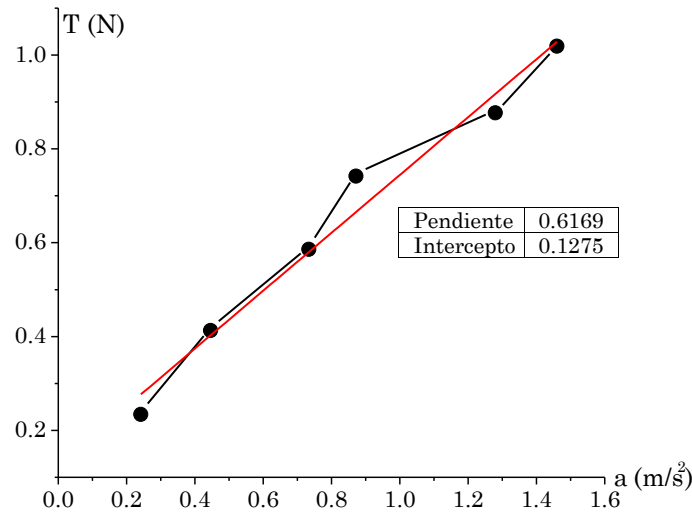


Figura 3.2 Tensión contra aceleración del sistema.

De acuerdo con la Figura 3.2 el valor de la pendiente es 0.6169 kg, es decir, la masa del carrito experimentalmente corresponde a $m_{1exp} = 616.9$ g. El valor teórico de la masa es $m_{2exp} = 650$ g, por lo que es posible conocer el error porcentual del valor calculado de la masa como:

$$\% \mathcal{E}_r = \frac{|650 - 616.9|}{650} \times 100 \Rightarrow \mathcal{E}_r \% = 5.09 \%$$

El error aproximado del 5.09% muestra ser una buena toma de datos.

Teniendo en cuenta el valor del intercepto de 0.1275 igual a $\mu_k m_1 g$, es posible determinar la cantidad μ_k de la siguiente manera:

SEGUNDA LEY DE NEWTON

$$0.1275 = \mu_k m_1 g \Rightarrow \mu_k = \frac{0.1275}{m_1 g} \Rightarrow \mu_k = \frac{0.1275}{0.6169 \cdot 9.8}$$

$\mu_k = 0.021$ lo cual es un valor razonable teniendo en cuenta que $0 < \mu_k < 1$.

Por otra parte, se puede analizar el movimiento acelerado a través de la segunda ley de Newton por medio de un carrito deslizándose por un riel, tal como muestra la Figura 3.3.

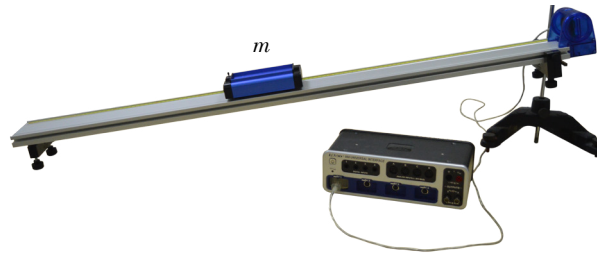


Figura 3.3 Esquema riel inclinado para análisis de la gravedad

En este caso, el peso tiene una componente horizontal igual a la masa multiplicada por la aceleración, es decir:

$$mg \sen \theta = ma$$

Simplificando las masas se obtiene:

$$a = g \sen \theta \quad (3.4)$$

Por lo cual si variamos el ángulo de inclinación y graficamos a contra $\sen \theta$ obtendríamos un comportamiento lineal con pendiente igual a la aceleración de la gravedad. Observemos esto con los siguientes datos experimentales que se muestran en la Tabla 3.2.

TABLA 3. 2
DATOS DE ACELERACIÓN CONTRA $\sen \theta$

$\sen \theta$		$a \text{ (m/s}^2\text{)}$
Sen 1°	0.017	0.069
Sen 2°	0.035	0.307
Sen 3°	0.052	0.528
Sen 4°	0.070	0.573

Un análisis de estos datos se puede mostrar en la Figura 3.4, donde podemos notar como el valor de la gravedad calculado corresponde a 9.835 m/s^2 , comparado con el valor teórico de 9.800 m/s^2 donde podemos determinar el error porcentual de acuerdo con la ecuación 0.7 como:

$$\% \epsilon_r = \frac{|9.800 - 9.835|}{9.800} \times 100 \Rightarrow \% \epsilon_r \approx 0.36 \%$$

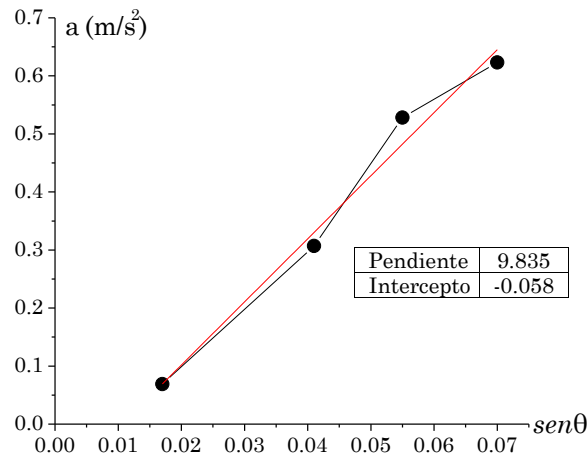


Figura 3.4 Gráfica de aceleración contra $\text{sen}\theta$

Logramos obtener un 0.36% de error porcentual, lo que nos indica que los datos fueron bien tomados y están muy cerca al valor promedio.

III. Ejercicios propuestos

Considere un sistema como el mostrado en la Figura 3.1, donde un estudiante de ingeniería realizó una toma de datos de masa y tensión, el estudiante realiza cambios de masa del carrito deslizando mientras mantiene fija la masa suspendida de 0.045 g. Los datos tomados son mostrados en la Tabla 3.3.

TABLA 3. 3
DATOS DE MASA SUSPENDIDA CONSTANTE, TENSIÓN Y ACELERACIÓN

m_1 (kg)	0.650	0.750	0.850	0.950	1.050	1.150
a (m/s ²)	0.494	0.472	0.412	0.362	0.303	0.252

Establezca una relación gráficamente entre a y $1/m_1$ ¿Qué se puede decir acerca de su comportamiento? ¿Qué relación existe entre a y $1/m_1$? ¿Qué significado tiene la pendiente?

SEGUNDA LEY DE NEWTON

UNIVERSIDAD DE LA COSTA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

EXPERIENCIA No. 3
SEGUNDA LEY DE NEWTON
LABORATORIO DE FÍSICA MECÁNICA

FECHA			GRUPO
DÍA	MES	AÑO	

NOMBRES:

1. *Objetivos*

Analizar la relación entre fuerza, masa y aceleración de un carrito moviéndose sobre un riel a través de la segunda ley de Newton.

2. *Equipo y/o elementos a utilizar*

Interfaz universal 850 (1) ○ sensor de movimiento (1) ○ sensor de fuerza (1) ○ riel de aluminio (1) ○ carrito metálico (1) ○ balanza (1) ○ juego de pesas (1) ○ polea (1) ○ metro de hilo (1) ○ computador y software (1) ○ transportador (1) ○ nivel (1).

3. *Actividades de la experiencia*

Esta práctica se realiza en dos partes. En la primer parte se analizará la relación entre fuerza, masa y aceleración, mientras en la segunda parte se analizará la relación entre aceleración gravitacional y aceleración del sistema a través de un carrito que se mueve sobre un riel de aluminio inclinado.

3.1 *Relación entre fuerza, masa y aceleración*

- 3.1.1 Realizar el montaje que observa en la Figura 3.1.
- 3.1.2 Cerciórase que las conexiones del sensor de movimiento y fuerza estan conectadas con la interfaz universal 850.
- 3.1.3 Utilizar el nivel para verificar que el riel de aluminio horizontal y verticalmente está nivelado.

- 3.1.4 Colocar el sensor de movimiento en el extremo el riel (Figura 3.1), en el otro extremo colocar la defensa magnética para frenar el carrito.
- 3.1.5 Medir la masa del carrito junto con su sensor de fuerza con ayuda de la balanza:
Masa del carrito + sensor de fuerza (Teórico) _____
- 3.1.6 Encender la interfaz y el computador conectado a ella, luego abrir el software de Pasco y verificar la conexión del interfaz en la configuración del hardware.
- 3.1.7 En la plantilla del software colocar dos gráficas, una de fuerza contra tiempo y otra de velocidad contra tiempo.
- 3.1.8 En la plantilla ingresar en condiciones de grabación → condición de inicio → tipo de condición → origen de datos → colocar 0.20, luego ingrese a condición de detención → tipo de condición → origen de datos → valor 0.70 m.
- 3.1.9 Amarrar un hilo con una longitud aproximada de 0.90 m entre el carrito y el porta-pesas.
- 3.1.10 Colocar sobre el porta-pesas (masa de 5 g) una masa de 20 g y sostener el carrito a 0.15 m del sensor de movimiento.
- 3.1.11 Realizar la toma de datos colocando grabar en la plantilla y simultáneamente dejar correr el carrito desde el punto de referencia (0.15 m del sensor de movimiento).
- 3.1.12 Hacer un ajuste de los datos tomados de la gráfica de tensión (fuerza) contra tiempo y de velocidad contra tiempo.
- 3.1.13 Para la gráfica de fuerza contra tiempo mostrar la media de la tensión (fuerza) con el ajuste Σ y preséntelos en la Tabla 3.4.
- 3.1.14 Para la gráfica de velocidad contra tiempo mostrar la pendiente (igual a la aceleración del carrito) de la recta con el ajuste lineal, luego presentar en la Tabla 3.4.

TABLA 3. 4
DATOS DE FUERZA, MASA Y ACELERACIÓN.

m_2 (kg)	0.025	0.045	0.065	0.085	0.105	0.125
T (N)						
a (m/s ²)						

- 3.1.15 Repetir los pasos del 9 al 13 aumentando la masa en el porta-pesas de 20 g en 20 g hasta 0.125 g.

3.2 Relación entre aceleración del sistema y aceleración gravitacional.

- 3.2.1 Realizar el montaje que se observa en la Figura 3.3.
- 3.2.2 Cerciorarse que el sensor de movimiento esté conectado con la interfaz universal 850.
- 3.2.3 Colocar el sensor de movimiento en el extremo del riel (Figura 3.3) y en el otro extremo colocar la defensa magnética para frenar el carrito.
- 3.2.4 En la plantilla del software colocar una gráfica de velocidad contra tiempo.
- 3.2.5 Tener cuenta las condiciones del paso 3.1.8.
- 3.2.6 Inclinar el riel de aluminio a un ángulo apropiado, por ejemplo a 2° (entre 0 y 10°), y reportar este ángulo en la Tabla 3.5.

TABLA 3. 5
DATOS DE a CONTRA $\sin \theta$

$\sin \theta$	$a \text{ (m/s}^2\text{)}$

Repetir el paso 3.1.11.

Repetir el paso 3.1.14 pero ahora reportarlo en la Tabla 3.5.

4. Cálculo y análisis de preguntas

- 4.1 A partir de los datos de la Tabla 3.4 y la gráfica de tensión contra aceleración, ¿Qué relación se encuentra entre la tensión y la aceleración?

- 4.2 De la gráfica tensión contra aceleración determinar la masa del carrito - sensor y comparar este resultado con el valor medido. Determinar el error porcentual. Masa carrito – sensor de fuerza (experimental) _____
-
- 4.3 De la gráfica de tensión contra aceleración determinar el valor del coeficiente de fricción entre el carrito y el riel de aluminio, asumiendo que éste se desliza. (Nota: Tenga en cuenta que la Intercepción = $\mu_k m g$)
- 4.4 De la Tabla 3.5 realizar una gráfica de a contra $\sin \theta$, y de esta determinar el valor de la gravedad experimental a través del ajuste lineal y determinar con ayuda de la ecuación (3.4) el error porcentual (Nota: usar $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ como la gravedad teórica).

5. Conclusiones de la experiencia

[illegible]

Referencias

- [1] S. Zemansky & Y. Freedman. Física universitaria con física moderna, vol. 1, décima tercera edición, Pearson educación, México, 2013.
- [2] R. A. Serway & J. W. Jewett, Física para ciencias e ingenierías, vol. 1, séptima edición, Cengage Learning, 2008.
- [3] Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific Model ME-6950

CAPÍTULO 4	63
TERCERA LEY DE NEWTON	64
I. INTRODUCCIÓN	64
II. TERCERA LEY DE NEWTON	64
III. EJERCICIOS PROPUESTOS	66
EXPERIENCIA No. 4	67
REFERENCIAS	69

Tercera Ley de Newton

I. Introducción

La tercera ley de Newton declara que:

“Para cada acción hay una reacción igual y opuesta”.

Es decir, que a diferencia de las dos primeras leyes que se refieren exclusivamente a cuerpos individuales, la tercera ley analiza el intercambio de fuerzas entre *dos cuerpos* y expresa que estas fuerzas al interactuar entre los dos cuerpos siempre se presentan en pares, las cuales se denotan como acción-reacción. Por ejemplo, si dos deportistas de patinaje artísticos sobre hielo A y B se encuentran el uno frente al otro en reposo inicialmente. Si el patinador A empuja impetuosamente al patinador B consecuentemente por la tercera ley de Newton, los dos patinadores experimentarán una fuerza de igual magnitud y sentido contrario propiciando que cada patinador se desplace en direcciones opuestas. Siendo la fuerza ejercida por el patinador A la acción y la fuerza experimentada por el patinador B la reacción. Se podría pensar que estas fuerzas de igual magnitud y en sentidos contrarios se cancelarían, pero esto no ocurre por el hecho fundamental de que cada una de las fuerzas actúa sobre distintos sistemas o cuerpos, en nuestro caso patinador A y patinador B .

II. Tercera Ley de Newton

Cuando dos cuerpos A y B interactúan, la tercera ley establece de manera cuantitativa que:

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA} \quad [\text{N}] \quad (4.1)$$

Donde \vec{F}_{AB} es la fuerza que ejerce el cuerpo A sobre el cuerpo B y \vec{F}_{BA} es la fuerza que ejerce el cuerpo B sobre el cuerpo A . La ecuación (4.1) manifiesta que \vec{F}_{AB} y \vec{F}_{BA} siempre son iguales en magnitud y direcciones opuestas. Para demostrar este importante principio podemos usar el sistema de la Figura 4.1, donde se ilustra dos bloques de masas M_A y M_B cada uno con sensores de fuerza S_A y S_B unidos a través de una banda de goma. El bloque M_B está conectado a una porta pesas de masa m a través de una cuerda ligera que pasa por una polea sin fricción.

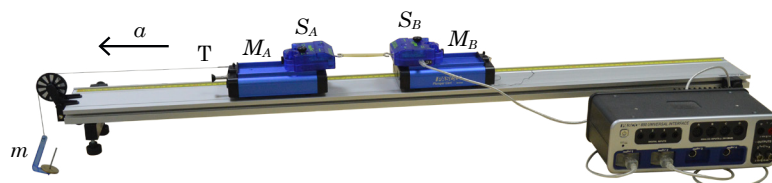


Figura 4.1 Montaje para demostrar la tercera ley de Newton

La tensión T de la cuerda actúa sobre el bloque de masa M_B generando un desplazamiento a lo largo de un riel liso con una aceleración a . Consecuentemente la interacción de la banda de goma entre los dos bloques origina un par de fuerzas de acción – reacción.

Para medir el par de fuerzas podemos suponer en el sistema de la Figura 4.1 que $m = 15.000 \text{ g}$ y $M_A = M_B = 591 \text{ g}$. Se deforma la banda de goma de tal manera que la separación entre los dos bloques sea aproximadamente de 15 cm . Luego se sueltan ambos bloques sincronizando a la vez con el mecanismo de medición a través de un software y dejando mover libremente el sistema hasta el final del riel. Finalmente se obtienen por medio de los sensores, las fuerzas en función del tiempo como se muestra en la Figura 4.2.

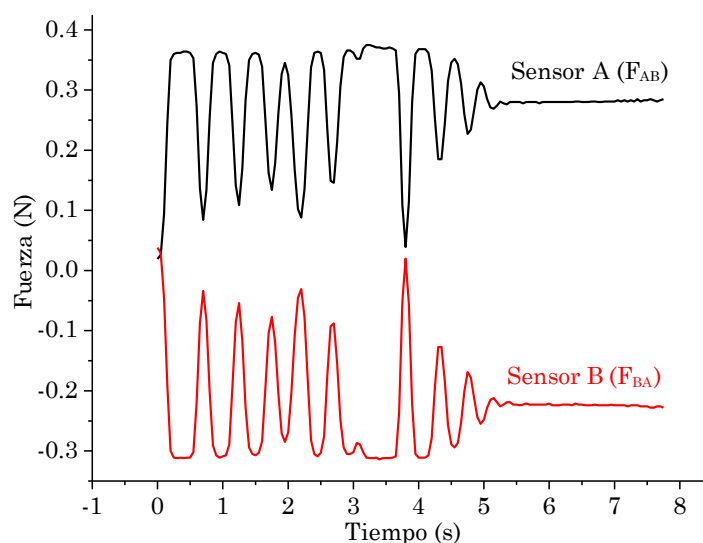


Figura 4.2 Datos obtenidos en la experiencia, tiempo y par de fuerzas acción-reacción

La Figura 4.2 ilustra como las fuerzas entre los dos bloques tienen una buena aproximación de iguales magnitudes y sentido contrario. Estas fuerzas registradas por los sensores ubicados en los bloques *A* y *B* verifican de manera simétrica la tercera ley de Newton.

III. Ejercicios propuestos

La tercera ley de Newton se puede demostrar de una manera rápida a través del siguiente ejercicio práctico.

1. Tomar una banda de goma entre los dedos índices.
2. Estirar la banda de goma con el índice izquierdo gradualmente hasta donde la elasticidad de la banda lo permita.
3. Luego de realizar el ejercicio responder:
 - a) ¿El índice derecho aplica alguna fuerza sobre la banda de goma?
 - b) A medida que se modifica la magnitud de la fuerza sobre la banda de goma con el índice izquierdo ¿Qué ocurriría con la fuerza aplicada a través del índice derecho?
 - c) ¿Se puede comparar la magnitud y el sentido de las fuerzas que se siente entre los dedos índices?
 - d) Con lo experimentado a través del ejercicio práctico ¿Se puede evidenciar la tercera ley de Newton? Explicar la respuesta.

TERCERA LEY DE NEWTON

UNIVERSIDAD DE LA COSTA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

EXPERIENCIA No. 4
TERCERA LEY DE NEWTON
LABORATORIO DE FÍSICA MECÁNICA

FECHA			GRUPO
DÍA	MES	AÑO	

NOMBRES:

1. *Objetivos*

Analizar y comprender el concepto de par acción reacción a través de la tercera ley de Newton.

2. *Equipo y/o elementos a utilizar*

Interfaz universal PASCO 850 (1) ○ sensor de fuerza (2) ○ riel de aluminio (1) ○ carrito metálico (2) ○ banda de goma (1) ○ juego de pesas (1) ○ polea (1) ○ metro de hilo (1) ○ computador y software (1) ○ nivel (1).

3. *Actividades de la experiencia*

- 3.1 Realizar el montaje como se muestra en la Figura 4.0.
- 3.2 Atar la porta pesas al otro extremo del hilo y pasarlo por la polea, como se ilustra en la Figura 4.0. Ajustar la polea hasta lograr que el hilo sea paralelo a la pista y atarlo al carrito de Masa M_B .
- 3.3 Colocar en la porta pesa una masa de 10.0 g (masa total 15.0 g).
- 3.4 Unir los carritos de masas M_A y M_B con la banda de goma usando los ganchos de los sensores S_A y S_B .
- 3.5 Conectar los sensores de fuerza en las entradas 1 y 2 de la Interfaz universal PASCO 850.
- 3.6 Utilizando las propiedades de los sensores de fuerza en el software PASCO Capstone cambiar el signo de uno de los sensores.

- 3.7 Configurar el software PASCO Capstone para obtener la gráfica fuerza – tiempo (F vs t). Tener en cuenta dar clic en el icono de fuerza (N) y seleccionar en agregar similar las entradas Fuerza, Ch P1(N) y Fuerza, Ch P2(N).
- 3.8 Deformar la banda de goma de tal manera que la separación entre los dos los carritos sean aproximadamente de 15 cm.
- 3.9 Asegurarse de presionar el botón TARE en los sensores de fuerzas (con el fin de quitar cualquier tensión inicial sobre los sensores de fuerzas).
- 3.10 Liberar los carritos e iniciar simultáneamente la toma de datos pulsando el botón *Grabar*. Es importante que el movimiento de los carritos no se vea afectado por la acción de los cables que conectan los sensores con la interfaz. Se recomienda que un integrante del grupo sostenga el cable sin tirar de él.
- 3.11 Repetir los ítems del 3.8–3.9 incrementando la masa .

4. Cálculo y análisis de preguntas

- 4.1 ¿Qué se puede concluir de las dos fuerzas registradas en el gráfico F vs t ? ¿Existe alguna relación entre los signos?

- 4.2 En algún momento del experimento las dos fuerzas fueron iguales tanto en dirección como en sentido. Explicar la respuesta.

- 4.3 Ilustrar en un diagrama el sentido de las fuerzas sobre los carritos cuando la banda de goma se estiraba o se contraía.

4.4 ¿Qué se demuestra al cambiar la masa M_A ?

5. Conclusiones de la experiencia

Referencias

- [1] S. Zemansky & Y. Freedman. Física universitaria con física moderna, vol. 1, décima tercera edición, Pearson educación, México, 2013.
- [2] R. A. Serway & J. W. Jewett, Física para ciencias e ingenierías, vol. 1, séptima edición, Cengage Learning, 2008.

HOJA DE CALCULO

CAPÍTULO 5	71
DINÁMICA DEL MOVIMIENTO CIRCULAR	72
I. INTRODUCCIÓN	72
II. MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORME (MCU)	72
III. FUERZA CENTRÍPETA	73
IV. EJERCICIOS PROPUESTOS	76
EXPERIENCIA No. 5	77
REFERENCIAS	79

Dinámica del Movimiento Circular

I. Introducción

El estudio de los cuerpos en movimiento en una sola dimensión es la base para estudiar la cinemática de los cuerpos. En esta parte nos concentraremos en analizar el movimiento en dos dimensiones cuando se mueven con rapidez constante, como es el caso del movimiento circular uniforme, donde aparecen nuevos conceptos como lo son la rapidez angular, frecuencia, periodo, aceleración radial y fuerza centrípeta, las cuales describen este tipo de movimiento. Desde el punto de vista práctico el movimiento es sencillo de estudiar y contiene muchas aplicaciones, tales como el movimiento de la tierra alrededor del sol y la rueda de una bicicleta, entre otros. En esta parte analizaremos la relación que existe entre cada una de las variables mencionadas que describen este movimiento.

II. Movimiento Circular Uniforme (MCU)

El movimiento circular uniforme (MCU) es caracterizado por una partícula que se mueve con respecto a un punto fijo, alrededor del cual gira, el tiempo que emplea en realizar una vuelta completa es conocido como el Periodo (T). la longitud que recorre la partícula durante el periodo es 2π , por lo cual se puede establecer que:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad [rad/s] \quad (5.1)$$

Donde ω , es conocida como la velocidad angular. Y siendo el inverso del periodo, la frecuencia. es decir:

$$f = \frac{1}{T} \text{ [Hz]} \quad (5.2)$$

Una manera de relacionar la velocidad angular con la velocidad lineal es por medio de la siguiente ecuación:

$$v = \omega r \text{ [m/s]} \quad (5.3)$$

De aquí podemos anotar como al ver un cuerpo rotando con respecto a un eje fijo, la velocidad aumenta o disminuye de acuerdo con la distancia del cuerpo con el eje fijo, es por esta razón que en un carrusel, los objetos que se encuentran más internos se mueven con menor rapidez con respecto a los que se encuentra cerca del extremo del carrusel.

III. Fuerza Centrípeta

Cada vez que se produce movimiento en forma circular aparecen dos aceleraciones, las cuales son perpendiculares entre sí, estas son la aceleración centrípeta o radial y la aceleración tangencial. Tal como se muestra en la Figura 5.1.

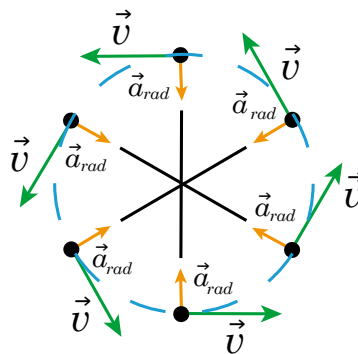


Figura 5.1 Representación gráfica de la velocidad y la aceleración radial en el movimiento circular uniforme

Las ecuaciones 5.4 y 5.5 muestran cómo se pueden determinar la aceleración teniendo en cuenta factores como el radio y el periodo del movimiento.

$$a_{rad} = \frac{v^2}{r} \quad [m/s^2] \quad (5.4)$$

$$a_{rad} = \frac{4\pi^2 r}{T^2} \quad [m/s^2] \quad (5.5)$$

Por la segunda ley de Newton se sabe que la aceleración de los cuerpos se produce por fuerzas que impulsan el movimiento, donde el movimiento circular no es la excepción, la aceleración es producida por la fuerza centrípeta o centrífuga la cual posee la misma dirección de la aceleración.

$$F = \frac{mv^2}{r} = mr\omega^2 \quad [N] \quad (5.6)$$

Donde v es la velocidad tangencial y w es la velocidad angular. Para medir la velocidad en función del tiempo de rotación, viene dado por:

$$v = \frac{4\pi^2 r}{T} \quad [m/s] \quad (5.7)$$

Imaginemos que tomamos una serie de datos de radio, velocidad tangencial y velocidad angular, cuando una masa de 209.5 g gira alrededor de un punto fijo, equilibrada por otra de 30 g, incluyendo la porta masa, cuyos datos son los que se presentan en la Tabla 5.1 y representan la Figura 5.1.

TABLA 5. 1
DATOS DE RADIO Y VELOCIDAD ANGULAR DE UN MOVIMIENTO CIRCULAR

r (m)	0.100	0.135	0.163	0.192	0.220
ω (rad/s)	3.400	2.910	2.420	2.220	2.130

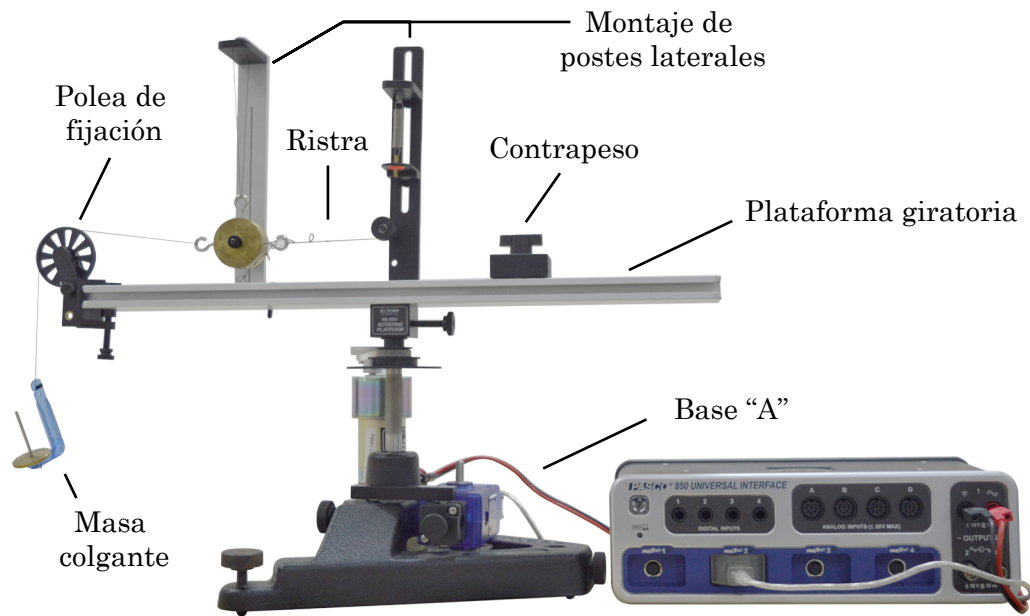


Figura 5.2 Movimiento circular de una masa

De acuerdo con la ecuación 5.6, se puede reescribir como:

$$m\omega^2 = F \frac{1}{r} \quad (5.8)$$

Los cálculos de $m\omega^2$ y con $m = 0.2095$ kg son obtenidos a partir de los datos de la Tabla 5.1 y son presentados en la Tabla 5.2.

TABLA 5. 2
DATOS DE $m\omega^2$ Y $1/r$

$1/r$ (m)	10	7.69	6.25	5.26	4.54
$m\omega^2$ (kg/s ²)	2.42	1.77	1.22	1.01	0.95

La Figura 5.3 modela el comportamiento de la ecuación 5.8, donde se puede obtener la fuerza centrípeta, calculando la pendiente de la recta ($m = 0.2836$ N).

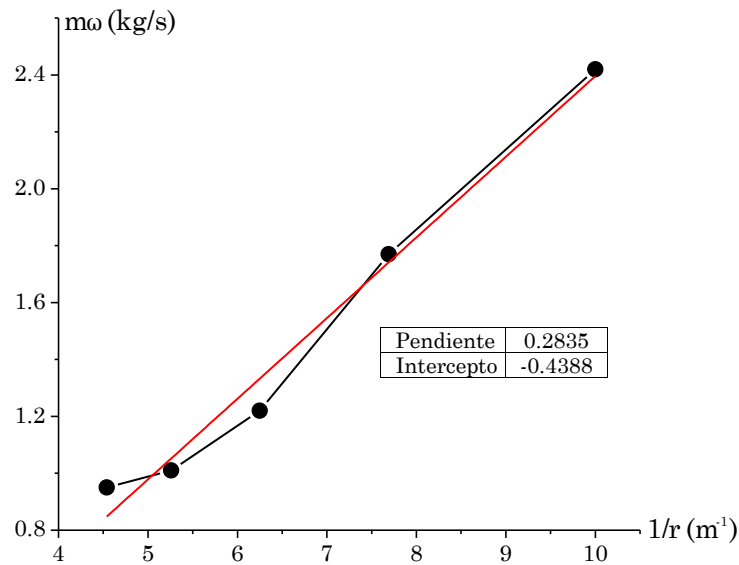


Figura 5.3 Relación entre velocidad angular contra inverso del radio

Este valor se aproxima de con el peso puesto al final del montaje ($mg = 0.03 \cdot 9.8 = 0.294N$) para equilibrar la masa de 209.5 g, al comparar estos dos valores se puede obtener el error porcentual entre estos.

$$\% \varepsilon_r = \frac{|0.294N - 0.284N|}{0.294N} \cdot 100 = 3.4\%$$

IV. Ejercicios propuestos

Un estudiante de ingeniería realiza una práctica de laboratorio donde se hace girar una masa de 209.5 g variando el radio de giro y equilibrada por otra de 20 g, incluyendo la porta masa, mientras describe un movimiento circular uniforme tal como se muestra en la Tabla 5.3:

TABLA 5. 3
DATOS DE RELACIÓN ENTRE ω , v y r

r (m)	0.10	0.13	0.16	0.19	0.22
v (m/s)	0.62	0.59	0.41	0.27	0.26
ω (rad/s)	6.20	4.50	2.60	1.40	1.20

A partir de estos datos determinar la velocidad angular media valor central \pm incertidumbre y la fuerza centrípeta.

DINÁMICA DEL MOVIMIENTO CIRCULAR

UNIVERSIDAD DE LA COSTA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

EXPERIENCIA No. 5
DINÁMICA DEL MOVIMIENTO CIRCULAR
LABORATORIO DE FÍSICA MECÁNICA

FECHA			GRUPO
DÍA	MES	AÑO	

NOMBRES:

1. *Objetivos*

Analizar la relación entre radio y velocidad angular en un movimiento circular uniforme.

2. *Equipo y/o elementos a utilizar*

Interfaz universal 850 (1) ○ sensor de rotación (1) ○ riel de aluminio (1) ○ juegos de pesas (1) ○ computador y software (1) ○ Hilo.

3. *Actividades de la experiencia*

- 3.1 Cerciórese que las conexiones del sensor de movimiento estén conectadas a la interfaz universal 850.
- 3.2 Mida la masa colgante en el poste (Figura 5.1) y digítelo en la Tabla 5.4. Luego, conecte esta masa con el resorte por medio de un hilo y asegure que este pase por debajo de la polea pequeña.
- 3.3 Coloque la polea sobre la plataforma de aluminio y una la porta pesas con la masa colgante del poste, colocando una masa deseada. Esta masa multiplicada por la gravedad es la fuerza centrípeta. Tabule estos valores en la Tabla 5.4.
- 3.4 Verifique que le montaje quede completamente equilibrado obteniendo el radio (r) y digitando en la Tabla 5.5, tal como lo muestra la Figura 5.1, y ajuste el resorte de modo que el indicador de disco quede en la misma altura del indicador del soporte.

- 3.5 Retire la polea y la porta pesas de la plataforma y en el Software PASCO Casptone seleccione generador de señales, y con el botón encendido para que empiece a girar la plataforma.
- 3.6 Varíe el voltaje hasta encontrar la velocidad que permite al sistema estar en equilibrio.
- 3.7 Realice un gráfico de posición vs tiempo y un ajuste de tipo lineal para obtener la pendiente (la pendiente le representa la velocidad angular (ω)) y digítelo el valor en la Tabla 5.5.
- 3.8 Varíe la distancia entre los postes, 5 veces, y repita los pasos 3.4 a 3.7.

4. Cálculo y análisis de preguntas

- 4.1 Con los datos tomados de las masas, determine la fuerza centrípeta (masa colgante por gravedad) y digite la siguiente tabla.

TABLA 5. 4
DATOS DE MASAS Y FUERZA CENTRÍPETA

Masa colgante del poste (kg)	
Masa colgante de la porta pesa (kg)	
Fuerza Centrípeta mg (N)	

- 4.2 Digite los valores de radio y velocidad angular en la siguiente tabla:

TABLA 5. 5
RADIO Y VELOCIDAD ANGULAR.

r (m)					
ω (rad/s)					

- 4.3 A partir de los datos de r y ω , calcule los valores de $1/r$ y $m\omega^2$. Siendo m , la masa colgante del poste.

TABLA 5. 6
RELACIÓN DE INVERSO DEL RADIO, MASA Y VELOCIDAD ANGULAR.

$1/r$ (m^{-1})					
$m\omega^2$ (kg/s^2)					

4.4 Realice una gráfica de $1/r$, ¿Qué tipo de gráfico obtiene?

4.5 Calcule la pendiente de la gráfica y compare este valor con la fuerza centrípeta.

4.6 Establezca el error porcentual entre los valores de fuerza centrípeta calculado (teórico) y medido en la experiencia.

5. Conclusiones de la experiencia

Referencias

- [1] S. Zemansky & Y. Freedman. Física universitaria con física moderna, vol. 1, décima tercera edición, Pearson educación, México, 2013.
- [2] R. A. Serway & J. W. Jewett, Física para ciencias e ingenierías, vol. 1, séptima edición, Cengage Learning, 2008.
- [3] Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific Model SE-9719.

CAPÍTULO 6	81
TEOREMA DEL TRABAJO Y LA ENERGÍA CINÉTICA	82
I. Introducción	82
II. Conceptos de trabajo - energía	82
III. Ejercicios propuestos	86
Experiencia No. 6	87
Referencias	90

Teorema del trabajo y la energía cinética

I. Introducción

La energía se manifiesta en el universo de distintas maneras, ya sea de forma mecánica, química, térmica, electromagnética o nuclear. En nuestro mundo todos los sistemas usados en la vida diaria necesitan estos tipos de energía o sus transformaciones para poder operar. Un autobús a alta velocidad tiene una energía cinética, la cual es generada del sistema mecánico de los engranajes y pistones del motor que a su vez son movidos por la explosión de una reacción química entre el combustible y una chispa creada por una descarga eléctrica. Además, por la fricción que se presenta en todo el sistema mecánico parte de la energía se pierde en forma de calor, la cual se disipa en los alrededores. Paralelamente, el concepto de trabajo está intrínsecamente relacionado con la energía, ya que la eficiencia de un sistema ideal está en aprovechar toda la energía y convertirla en trabajo, por tanto, no se puede realizar trabajo sin energía. En una hidroeléctrica se aprovecha la energía potencial que tiene el agua, es decir la capacidad que tiene de hacer trabajo, para mover una turbina y así transformar la energía potencial en energía eléctrica. A continuación, introduciremos el concepto de trabajo en función de la fuerza y el desplazamiento. Posteriormente definiremos el teorema del trabajo y la energía cinética.

II. Conceptos de trabajo - energía

En esta parte conceptual nos enfocaremos en dos aspectos fundamentales para analizar el trabajo realizado sobre un cuerpo, uno enfocado sobre el trabajo realizado por una fuerza constante y el segundo con la relación entre trabajo y energía cinética conocida también como el teorema del trabajo y energía cinética.

A. Conceptos de trabajo realizado por una fuerza constante

El trabajo w de un sistema dinámico sobre el que actúa una fuerza constante se determina multiplicando a través del producto escalar o producto punto la fuerza aplicada \vec{F} y el desplazamiento $\Delta\vec{x} = \vec{x}_f - \vec{x}_i$ del sistema:

$$W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{x} = F\Delta x \cos \theta. \quad (6.1)$$

Siendo α el ángulo entre los dos vectores. En este sentido, al realizar el producto escalar entre vectores se debe tener especial cuidado con el ángulo entre ellos. En la Figura 6.1a, se ilustran la fuerza normal \vec{N} , el peso \vec{w} y la tensión \vec{T} , las cuales actúan sobre un bloque de masa m_1 que tiene un desplazamiento $\Delta\vec{x}$ a lo largo de un plano horizontal liso con aceleración. El bloque está conectado a una porta masa de masa m_2 (masa de la pesa + masa de la porta pesas) a través de una cuerda ligera que pasa por una polea sin fricción.

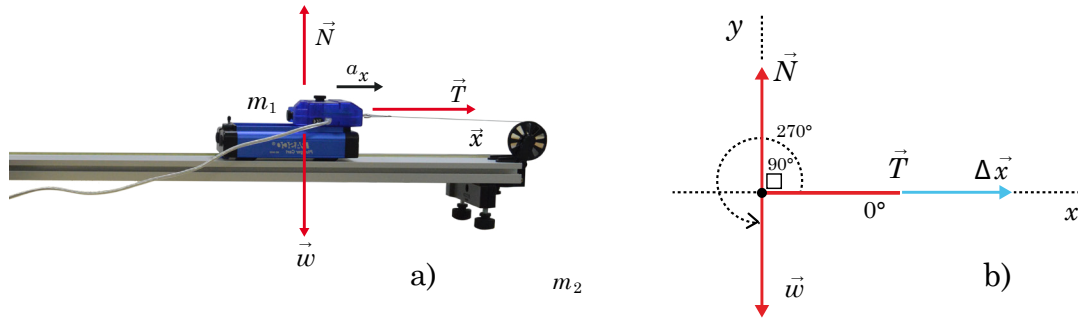


Figura 6.1 Sistema de pesas que se desplazan a través de una polea para análisis de trabajo – energía.

A partir de la Figura 6.1b se puede determinar el trabajo realizados por cada una de las fuerzas usando la ecuación (6.1). Tenemos al trabajo efectuado tanto por la normal y el peso es nulo, al ser el ángulo entre \vec{N} y $\Delta\vec{x}$ es 90° y el ángulo entre \vec{w} y $\Delta\vec{x}$ es 270° . Por lo tanto, la tensión en la cuerda por ser paralela al desplazamiento es la única fuerza que produce trabajo en el sistema. Este trabajo está dado por la siguiente expresión:

$$W = T\Delta x. \quad (6.2)$$

Donde T es:

$$T = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} g \quad (6.3)$$

Esta relación se puede determinar aplicando la segunda ley en la Figura 6.1a. De manera general el trabajo invertido en un sistema dinámico también se puede obtener calculando el área bajo la curva del gráfico F vs Δx .

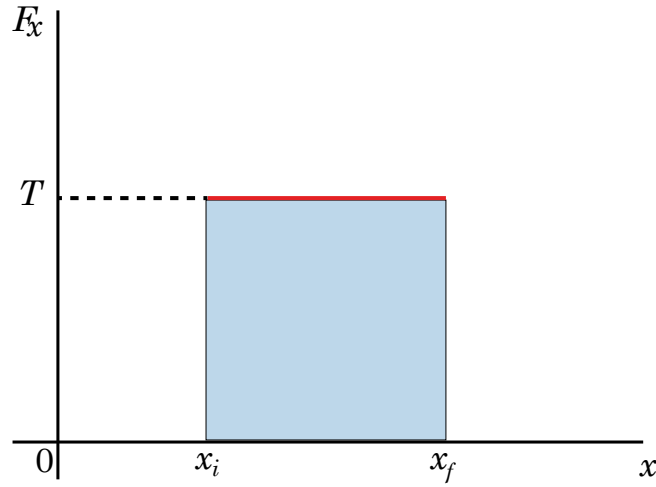


Figura 6.2 Ilustración de la tensión T en la cuerda en función del desplazamiento de la masa m_1 .

En la Figura 6.2 se ilustra la tensión que actúa sobre la masa versus m_1 su desplazamiento, el área rectangular A bajo la línea es $T\Delta x$, la cual representa el trabajo invertido por la tensión constante T durante el desplazamiento Δx . Esta expresión concuerda con el resultado obtenido en la ecuación (6.2).

B. Teorema del trabajo y la energía.

El teorema del trabajo y la energía establece que el trabajo realizado por todas las fuerzas sobre un sistema dinámico es igual al cambio de la energía cinética ΔK del sistema en cuestión.

$$W = \Delta K \quad (6.4)$$

Si para la masa m_1 de la Figura 6.1a, se asume que la velocidad inicial del sistema es V_1 en x_1 entonces, en x_f , tenemos:

$$W = T\Delta x = \frac{1}{2}m_1 v_f^2 - \frac{1}{2}m_1 v_i^2 \quad (6.5)$$

Para realizar un análisis experimental de la dinámica estudiada se simula el sistema de la Figura 6.1a usando el montaje ilustrado en la Figura 3.1. (Esquema para segunda ley de Newton). Si consideramos que $m_1 = 591.00$ g y $m_2 = 35.00$ g, y utilizando estos valores en la ecuación (6.3) tenemos que $T = 0.320$ N. En este sistema calculamos a través de un mecanismo sensorial la velocidad inicial y la velocidad final de la masa m_2 para distintas distancias. La medición realizada arrojó los datos registrados en la Tabla 6.1.

TABLA 6. 1
DATOS OBTENIDOS EN LA EXPERIENCIA

No	Δx (m)	v_i (m/s)	v_f (m/s)	ΔK (J)	$T\Delta x$ (J)	A (J)
1	0.100	0.070	0.320	0.034	0.032	0.033
2	0.200	0.090	0.470	0.062	0.064	0.063
3	0.300	0.080	0.580	0.097	0.096	0.097
4	0.400	0.090	0.660	0.123	0.128	0.128
5	0.500	0.070	0.740	0.157	0.160	0.161
6	0.600	0.090	0.810	0.187	0.192	0.194
7	0.700	0.090	0.860	0.212	0.224	0.215

De los datos de la Tabla 6.1 se verifica $\Delta K \approx T\Delta x$ para distintos desplazamientos. Al realizar el gráfico ΔK vs Δx , ilustrado en la Figura 6.3, se obtiene el valor de la pendiente 0.301 N, la cual es la tensión experimental aplicada en la cuerda. Ahora teniendo en cuenta que la tensión teórica obtenida por la ecuación (6.3) es de 0.320 N se evidencia un error relativo porcentual aceptable del 6%.

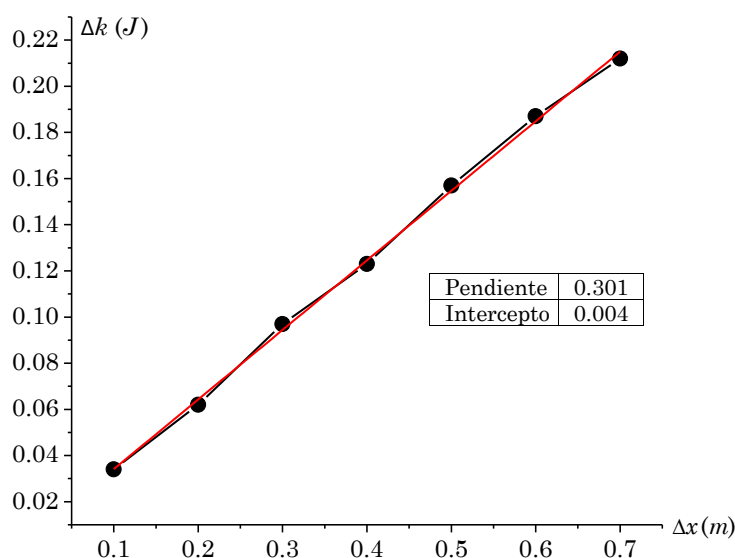


Figura 6.3 Comportamiento de la energía cinética ΔK en función del desplazamiento Δx

Los datos de la columna $A(J)$ se obtienen a través de un software que calcula el área bajo la curva del gráfico T vs Δx tomando la información de un sensor de fuerza que calcula el valor de la tensión en la cuerda. Los resultados obtenidos en esta experiencia demuestran el teorema del trabajo y la energía por medio de la medición del cambio de la energía cinética y el cálculo experimental del área bajo la curva.

III. Ejercicios propuestos

Un estudiante de ingeniería realiza una experiencia en el laboratorio donde hace deslizar una masa bloque de $m_1 = 650.00$ g por un riel horizontal liso usando una contra pesa de masa $m_2 = 55.00$ g como se ilustra en la Figura 6.1a. El estudiante obtiene las velocidades iniciales y finales de m_1 para distintos desplazamientos y registra sus datos experimentales en la Tabla 6.2.

TABLA 6. 2
DATOS OBTENIDOS DE DESPLAZAMIENTO Y VELOCIDAD

No	Δx (m)	v_i (m/s)	v_f (m/s)	ΔK (J)	$T\Delta x$ (J)
1	0.100	0.010	0.390		
2	0.200	0.011	0.550		
3	0.300	0.010	0.670		
4	0.400	0.012	0.790		

A partir de los datos de la Tabla 6.2 a) Determinar los valores de ΔK y $T\Delta x$ usando las ecuaciones (6.4) y (6.5) para cada desplazamiento. b) ¿Se cumple siempre el teorema del trabajo y la energía? c) Calcular el error relativo porcentual entre la tensión experimental y la tensión teórica.

TEOREMA DEL TRABAJO Y LA ENERGÍA CINÉTICA

UNIVERSIDAD DE LA COSTA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

EXPERIENCIA No. 6
TEOREMA DEL TRABAJO Y ENERGIA CINETICA
LABORATORIO DE FÍSICA MECÁNICA

FECHA			GRUPO
DÍA	MES	AÑO	

NOMBRES:

1. *Objetivos*

Análisis geométrico y analítico del del teorema del trabajo y la energía a través de un carrito en movimiento por un riel con tensión constante.

2. *Equipo y/o elementos a utilizar*

Interfaz universal PASCO 850 (1) ○ sensor de movimiento (1) ○ sensor de fuerza (1) ○ riel de aluminio (1) ○ carrito metálico (1) ○ balanza (1) ○ juego de pesas (1) ○ polea (1) ○ metro de hilo (1) ○ computador y software (1) ○ nivel (1).

3. *Actividades de la experiencia*

3.1 Determinar con la balanza, la masa m_1 (carrito + sensor de fuerza) y m_2 (se recomienda 35.0 g, incluyendo la porta pesas). Usando estos valores calcular la tensión en la cuerda a través de la ecuación (6.3). Anotar estos valores como m_1 , m_2 y T en la Tabla 6.3.

TABLA 6.3
DATOS MASA Y TENSIÓN DEL SISTEMA

m_1 (kg)	m_2 (kg)	$T(N)$

- 3.2 Configurar la plantilla del software para obtener las gráficas de fuerza – desplazamiento (F vs Δx) y velocidad – tiempo (v vs t). Asegurarse que en la gráfica (F vs Δx) la fuerza tome valores positivos.
- 3.3 Realizar el montaje de acuerdo con la Figura 6.1a. Ajustar la polea hasta lograr que el hilo sea paralelo a la pista.
- 3.4 Quitar el hilo del carrito y luego presionar el botón TARE en el sensor de fuerza (esto con el fin de quitar cualquier tensión inicial sobre el sensor de fuerza). Colocar el hilo nuevamente en el carrito.
- 3.5 Colocar el carrito aproximadamente a 15 cm de distancia del sensor de movimiento (esto debido a la resolución de este instrumento).
- 3.6 Liberar el móvil e iniciar simultáneamente la toma de datos pulsando el botón grabar. Es importante que el movimiento del carrito no se vea afectado por la acción del cable que conecta el sensor con la interfaz.
- 3.7 En la plantilla ingresar en condiciones de grabación → condición de inicio → tipo de condición → origen de datos → colocar 0.20, luego ingresar a condición de detención → tipo de condición → origen de datos → valor en metros donde se va a detener.
- 3.8 Finalizar la toma de datos justo antes que el carrito alcance el final del carril en el espacio disponible. Evitar la caída o choques fuertes del carrito.
- 3.9 En la gráfica velocidad – tiempo (v vs t) obtenida determinar los valores de la velocidad inicial y final, anote éstos en la Tabla 6.4.
- 3.10 En la gráfica de fuerza – posición (F vs x) obtenida determinar el área bajo la curva resultante A y anotar este valor en la Tabla 6.4.

TABLA 6. 4
RELACIÓN ENTRE DESPLAZAMIENTO, ENERGÍA CINÉTICA Y ÁREA BAJO LA CURVA.

No	Δx (m)	v_i (m/s)	v_f (m/s)	ΔK (J)	A (J)
1					
2					
3					
4					
5					
6					

4. Cálculo y análisis de preguntas

4.1 De acuerdo con los datos de la Tabla 6.4. ¿El teorema del trabajo y la energía fue verificado?

4.2 De la Tabla 6.4 usar los datos del cambio de la energía cinética y el área bajo la curva para realizar dos gráficos (Δk vs Δx) y (A vs Δx). Luego calcular el error relativo porcentual entre cada una de las pendientes y compararlo con el valor de la tensión calculada a través de la ecuación 6.3. ¿Cuál resultado es más confiable? ¿Por qué?

4.3 Con los resultados obtenidos en la parte 4.2, ¿se pueden usar para verificar el teorema del trabajo y la energía? Explicar las respuestas.

4.4 Si el teorema del trabajo y la energía no se demuestra en este experimento, ¿a qué posibles fuentes de error se puede atribuir la diferencia de estos datos?

5. Conclusiones de la experiencia

Referencias

- [1] S. Zemansky & Y. Freedman. Física universitaria con física moderna, vol. 1, décima tercera edición, Pearson educación, México, 2013.
- [2] R. A. Serway & J. W. Jewett, Física para ciencias e ingenierías, vol. 1, séptima edición, Cengage Learning, 2008.
- [3] Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific Model SE-9719.

CAPÍTULO 7	91
CONSERVACIÓN DEL MOVIMIENTO LINEAL	92
I. INTRODUCCIÓN	92
II. CONSERVACIÓN DEL MOMENTO LINEAL	92
III. EJERCICIOS PROPUESTOS	94
EXPERIENCIA No. 7	95
REFERENCIAS	97

Conservación del momento lineal

I. Introducción

Cuando colisionan dos o más cuerpos, existe una transferencia de momentos entre los cuerpos. Esta transferencia de momentos depende de cómo sea la masa de los cuerpos y la velocidad con que se encuentren en el momento de la colisión. Por esta razón, en muchas ocasiones los vehículos que poseen masas pequeñas se ven mayormente afectados, tal como en el caso de la conservación del momento, la cantidad de momento se debe conservar, en este experimento se mostrará cómo se conserva la energía cinética durante dichas colisiones.

II. Conservación del Momento lineal

La cantidad de movimiento (\vec{P}) de un cuerpo cualquiera se define como el producto entre su masa (m) y la velocidad (\vec{v}) con que se mueve dicho cuerpo. Cuando colisionan dos cuerpos se transfiere el momento de un cuerpo a otro, conservándose la cantidad de movimiento. Es decir, la cantidad de momento lineal antes de la colisión es igual a después de la colisión.

$$\vec{P}_{antes} = \vec{P}_{despues} \quad (7.1)$$

Siendo

$$\vec{P} = m\vec{v} \quad (7.2)$$

Se puede decir que una colisión es elástica o inelástica, observando la energía cinética del sistema antes y después de la colisión. Si esta cantidad se conserva, entonces se dice que la colisión es elástica, de lo contrario la colisión será inelástica. Recordando que la energía cinética de un cuerpo se expresa cómo:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (7.3)$$

Imagine que tomamos una serie de datos de velocidad inicial y velocidad final mientras colisionan dos carros como los que se presentan a continuación:

TABLA 7. 1
RELACIÓN DE MASAS Y VELOCIDADES ANTES Y DESPUÉS DE LA COLISIÓN

M_1 (kg)	M_2 (kg)	V_{i1} (m/s)	V_{i2} (m/s)	V_{f1} (m/s)	V_{f2} (m/s)
0.600	0.700	0.0	0.723	0.249	0.509
0.600	0.800	0.0	0.565	0.201	0.414
0.600	0.900	0.0	0.407	0.143	0.311
0.600	0.100	0.0	0.249	0.095	0.192

A partir de estos datos se pueden analizar los momentos lineales y la energía cinética. De acuerdo con lo expuesto en la teoría, verificaremos si se conserva o no el momento lineal y que tipo de colisión es. De la Tabla 7.1 se calcula la cantidad de movimiento a través de la ecuación 7.2 y 7.3, reportándose en la Tabla 7.2.

TABLA 7. 2
DATOS DE MOMENTO LINEAL Y ENERGÍA CINÉTICA CALCULADOS

P_i (kg m/s)	P_f (kg m/s)	K_i (J)	K_f (J)
0.5061	0.5057	0.1829	0.1092
0.4520	0.4518	0.1276	0.0806
0.3663	0.3657	0.0745	0.0496
0.2490	0.2490	0.0310	0.0211

Al comparar los valores de la Tabla 7.2, se puede observar que el momento lineal se conserva, ya que las cantidades antes y después de la colisión son muy parecidas. Sin embargo, se puede notar que la energía cinética difiere en cantidades antes y después de la colisión, esto, da a entender que las colisiones que se presentan son de tipo inelásticas.

III. Ejercicios propuestos

Un estudiante de ingeniería realiza una práctica de laboratorio donde se hacen chocar dos carritos, uno con masa fija y otro depositando masas de 50 g sobre él. Los datos de masas y velocidades registrados en el laboratorio son como se muestran en la siguiente Tabla 7.3.

TABLA 7. 3
DATOS DE MASAS Y VELOCIDADES ANTES Y DESPUÉS DE LA COLISIÓN

M_1 (kg)	M_2 (kg)	V_{i1} (m/s)	V_{i2} (m/s)	V_{f1} (m/s)	V_{f2} (m/s)
0.600	0.600	0.0	0.250	0.150	0.050
0.600	0.650	0.0	0.205	0.103	0.041
0.600	0.700	0.0	0.164	0.058	0.031
0.600	0.750	0.0	0.106	0.009	0.019

A partir de estos datos determinar si se conserva la cantidad de movimiento y que tipo de colisión se presenta.

CONSERVACIÓN DEL MOMENTO LINEAL

UNIVERSIDAD DE LA COSTA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

EXPERIENCIA No. 7
CONSERVACIÓN DEL MOMENTO LINEAL
LABORATORIO DE FÍSICA MECÁNICA

FECHA			GRUPO
DÍA	MES	AÑO	

NOMBRES:

1. *Objetivos*

Analizar la velocidad de dos carritos en movimiento para determinar la conservación de momento lineal y la energía cinética.

2. *Equipo y/o elementos a utilizar*

Interfaz universal 850 (1) ○ sensor de movimiento (1) ○ riel de aluminio (1) ○ juegos de pesas (1) ○ computador y software (1) ○ carritos (2).

3. *Actividades de la experiencia*

3.1 Cerciorarse que las conexiones del sensor de movimiento estén conectadas a la interfaz universal 850.

3.2 Registre los datos de masa de los carritos en la Tabla 7.4.

3.3 Verificar que el montaje este bien realizado. Tal como lo indica la Figura 7.1.

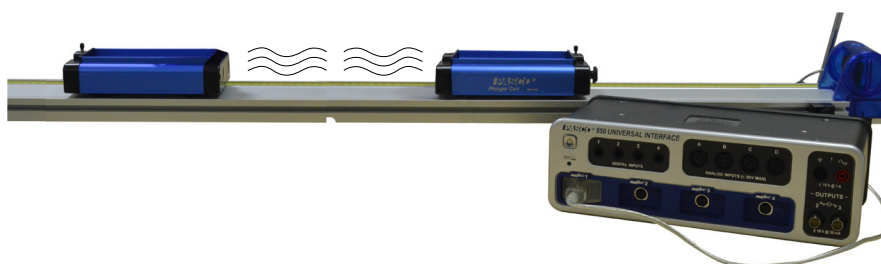


Figura 7.1 Montaje experimental conservación de momento lineal

- 3.4 Colocar una distancia entre los carritos de 90 cm.
- 3.5 Ajustar el software Pasco Capstone, visualizando una gráfica de velocidad vs tiempo de los dos carritos.
- 3.6 Mover hacia adelante uno de los carritos, manteniendo el otro en reposo, y monitorear permanentemente la velocidad de los carritos con el software.
- 3.7 Registrar los valores de velocidades antes y después del choque en la Tabla 7.4.
- 3.8 Agregar masas al carrito que entra en movimiento, de modo que se complete los datos de la Tabla 7.4.

4. Cálculo y análisis de preguntas

- 4.1 Registrar los datos de masas y velocidades en la Tabla 7.4.

TABLA 7. 4
RADIO, VELOCIDAD ANGULAR Y VELOCIDAD LINEAL.

M_1 (g)	M_2 (g)	V_{i1} (m/s)	V_{i2} (m/s)	V_{f1} (m/s)	V_{f2} (m/s)

- 4.2 A partir de los datos obtenidos en la Tabla 7.4 calcular la cantidad de movimiento y la energía cinética, antes y después del choque y reportarlos en la Tabla 7.5.

TABLA 7. 5
DATOS DE MOMENTO LINEAL Y ENERGÍA CINÉTICA CALCULADOS EXPERIMENTALMENTE

P_i (kg m/s)	P_f (kg m/s)	K_i (J)	K_f (J)

4.3 A partir de los datos de P_i y P_f , establezca si se mantiene la cantidad de movimiento y justificar la respuesta.

4.4 De los datos de energía cinética, explicar qué tipo de choque obtuvo, ¿fue elástico o inelástico?

5. Conclusiones de la experiencia

Referencias

- [1] S. Zemansky & Y. Freedman. Física universitaria con física moderna, vol. 1, décima tercera edición, Pearson educación, México, 2013.
- [2] R. A. Serway & J. W. Jewett, Física para ciencias e ingenierías, vol. 1, séptima edición, Cengage Learning, 2008.

CAPÍTULO 8	99
IMPULSO Y CANTIDAD DE MOVIMIENTO	100
I. INTRODUCCIÓN	100
II. IMPULSO Y CANTIDAD DE MOVIMIENTO	100
III. EJERCICIOS PROPUESTOS	102
EXPERIENCIA No. 8	103
REFERENCIAS	105

Impulso y cantidad de movimiento

I. Introducción

Una manera de analizar el movimiento de los cuerpos antes y después de una colisión es a través del concepto de impulso y cantidad de movimiento. El impulso no es más que un empuje aplicado a un cuerpo en muy corto tiempo, el cual está relacionado con el cambio en la cantidad de movimiento que dos cuerpos colisionan, es decir, cuando un cuerpo realiza un empuje sobre otro cuerpo en un tiempo muy pequeño. En esta experiencia se analiza precisamente esta relación y comprobaremos la base conceptual de impulso.

II. Impulso y cantidad de movimiento

De acuerdo con la segunda ley de Newton, la cantidad de movimiento de un cuerpo cambia si aparece una fuerza que actúa sobre ella. Imaginemos que una fuerza neta \vec{F} actúa sobre un cuerpo, siendo esta fuerza una dependencia del tiempo, es decir, varía en función del tiempo, por tanto, podemos expresar esta relación como:

$$\int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt = \Delta p = p_f - p_i \quad (8.1)$$

Definiendo la cantidad vectorial $\int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt$ como impulso, el cual definimos como el empuje sobre un cuerpo en un intervalo de tiempo muy pequeño, luego podemos expresar el impulso como:

$$\vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt \quad (8.2)$$

Se observa de la ecuación 8.2 como la magnitud del impulso se puede obtener como el área bajo la curva de fuerza – tiempo, por lo que podemos definir el teorema de impulso – cantidad de movimiento como:

$$\vec{I} = \Delta p \quad (8.3)$$

Las unidades en el sistema internacional de impulso son las misma que las de cantidad de kg m/s.

Consideremos un choque en un corto tiempo de dos carritos que se aproxima uno al otro, teniendo en cuenta que uno de estos carros se encuentra en reposo y fijo, tal como se ilustra en la Figura 8.1.

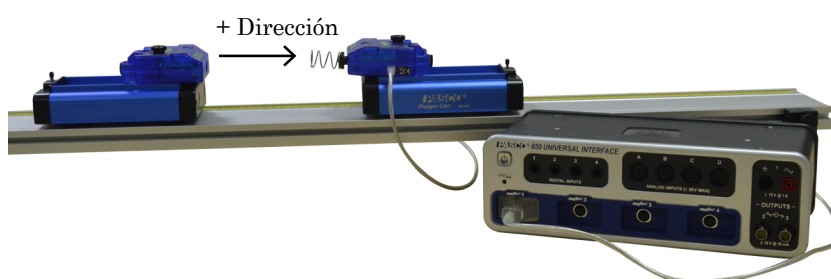


Figura 8.1 Esquema de impulso entre dos carritos

Si obtenemos datos de fuerza y tiempo de este impulso de la Figura 8.1 y considerando la ecuación 8.3 se puede encontrar el impulso experimental de los carritos con el área bajo la curva de la Figura 8.2, este valor corresponde a 0.0428.

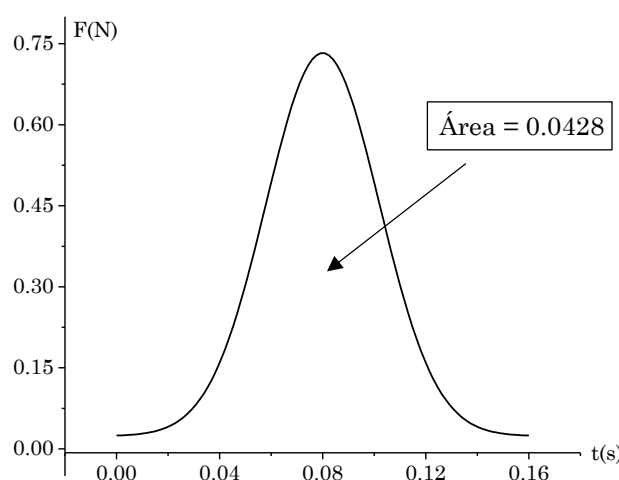


Figura 8.2 Relación de fuerza – tiempo para un choque

Por lo que podemos comprobar la ecuación 8.1 al establecer las velocidades antes y después del choque, para determinar el cambio en la cantidad de movimiento. Estos datos se justifican por ejemplo de la práctica y se muestran en la Tabla 8.1.

TABLA 8. 1
RELACIÓN DE IMPULSO Y CANTIDAD DE MOVIMIENTO

Tipo de parachoques	v_i (m/s)	v_f (m/s)	I	Δp
Resorte	0.052	-0.037	0.0428	0.0471

Por lo cual se obtiene un error porcentual de 9%.

III. Ejercicios propuestos

Se realiza una experiencia de laboratorio para determinar la relación de impulso y cantidad de movimiento de un carrito (0.2782 kg) moviéndose de acuerdo con la Figura 8.0, si usted mide el impulso de acuerdo como una gráfica similar a la Figura 8.1 tendría los valores que se encuentran en la Tabla 8.2.

TABLA 8. 2
DATOS DE VELOCIDADES E IMPULSO

Tipo de parachoques	v_i (m/s)	v_f (m/s)	I (kg m/s)	Δp (kg m/s)
Magnético	1.140	-1.083	0.612	

De acuerdo con la Tabla 8.2 comprobar que se cumple la ecuación 8.3. ¿Qué porcentaje de error de obtiene? y ¿a qué se debe este error?

IMPULSO Y CANTIDAD DE MOVIMIENTO

UNIVERSIDAD DE LA COSTA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

EXPERIENCIA No. 8
IMPULSO Y CANTIDAD DE MOVIMIENTO
LABORATORIO DE FÍSICA MECÁNICA

FECHA			GRUPO
DÍA	MES	AÑO	

NOMBRES:

1. *Objetivos*

Comprobar la relación de fuerza, tiempo y cantidad de movimiento de un choque de un carrito deslizando por un riel.

2. *Equipo y/o elementos a utilizar*

Interfaz universal 850 (1) ○ sensor de movimiento (1) ○ riel de aluminio (1) ○ sensor de fuerza (1) ○ computador y software (1) ○ carritos (2).

3. *Actividades de la experiencia*

- 3.1 Cerciorarse que las conexiones del sensor de movimiento estén conectadas a la interfaz universal 850.
- 3.2 Registrar los datos de masa de los carritos en la Tabla 8.3.
- 3.3 Verificar que el montaje este bien realizado. Tal como indica la Figura 8.0.
- 3.4 Ajuste el software Pasco Capstone, visualizando una gráfica de velocidad vs tiempo y fuerza vs tiempo del carrito.
- 3.5 Mover hacia adelante muy suavemente uno de los carritos, manteniendo el otro en reposo, tal como se muestra en la Figura 8.0.
- 3.6 Registrar los valores de velocidades antes y después del choque y reportarlos en la Tabla 8.3.
- 3.7 De la gráfica de fuerza vs tiempo determinar el área bajo la curva y reportarlo en la Tabla 8.3.

4. *Cálculo y análisis de preguntas*

4.1 De los datos reportados en la Tabla 8.3 determinar el cambio en la cantidad de movimiento,

TABLA 8. 3
DATOS EXPERIMENTALES DE IMPULSO Y CANTIDAD DE MOVIMIENTO

Tipo de parachoques	m (kg)	v_i (m/s)	v_f (m/s)	I (kg m/s)	Δp (kg m/s)

4.2 De acuerdo con la Tabla 8.3 ¿Se cumple el teorema de impulso y cantidad de movimiento?

4.3 Determinar el error porcentual de la relación de impulso y el cambio en la cantidad de movimiento.

4.4 ¿Por qué método cree es más conveniente encontrar el impulso?
Explicar

5. *Conclusiones de la experiencia*

Referencias

- [1] S. Zemansky & Y. Freedman. Física universitaria con física moderna, vol. 1, décima tercera edición, Pearson educación, México, 2013.
- [2] R. A. Serway & J. W. Jewett, Física para ciencias e ingenierías, vol. 1, séptima edición, Cengage Learning, 2008.

CONCLUSIONES

El propósito general del libro se obtuvo conforme al diseño del modelo experimental en la enseñanza y aprendizaje de la Física mecánica, estableciendo por medio de la práctica en el laboratorio a lo largo de esta obra un modelo didáctico que empleó estrategias pedagógicas apoyadas en la experimentación y la tecnología, lo que facilita el entendimiento de las leyes de la física mecánica en la vida cotidiana.

Las contribuciones de los autores de este proyecto se ven reflejadas a través de todos los capítulos de este libro, las cuales son:

- En todos los capítulos de este libro se presentan ejemplos con datos originales obtenidos en el laboratorio por medio de montajes experimentales diseñados por los autores.
- En cada una de las prácticas de laboratorio sugeridas en este libro se indica al lector las configuraciones del software, los parámetros y valores experimentales que se deben tener en cuenta para una realización exitosa de la práctica.
- En el capítulo de mediciones directas e indirectas se planteó de tal manera que el lector tenga un bosquejo general de lo que es la medida, tipos de medidas y el cálculo de error en la medida. Aplicando estos conceptos en la determinación de los cálculos de errores de los valores de las densidades de esferas y cilindros.
- En el capítulo del movimiento rectilíneo uniforme acelerado se diseñó para una mejor comprensión de los sistemas cinemáticos, donde se ilustra de forma detallada la utilización de los mínimos cuadrados para el movimiento uniformemente acelerado de un carrito deslizándose por un plano inclinado.
- En los capítulos de las aplicaciones de la dinámica que comprende las leyes de Newton y el movimiento circular se enseña y se demuestra la relación entre fuerza, masa y aceleración de un carrito moviéndose sobre un riel a través de la segunda ley de Newton, además se ilustra la tercera ley de Newton a través de un método estratégico y práctico, se suma también un análisis de la relación entre radio y velocidad angular en un movimiento circular uniforme.

- En el capítulo de trabajo y energía se plateó de tal forma que el estudiante pueda demostrar de manera experimental el teorema del trabajo y la energía a través de un carrito en movimiento por un riel con tensión constante usando el método geométrico y analítico.
- En los capítulos de conservación del movimiento lineal e impulso que comprende colisiones entre dos carritos en direcciones contrarias se analiza la velocidad de los dos carritos en movimiento para determinar la conservación de momento lineal y la energía cinética, además se comprueba la relación de fuerza, tiempo y cantidad de movimiento.

El proceso de experimentación en física implica el uso tanto del método cuantitativo, como del cualitativo. En este sentido, por medio de estos métodos se demostraron los principios y fenómenos físicos usando la técnica experimental, se concluye que la aplicación de los conceptos de la física mecánica en el laboratorio genera en el estudiante una perspectiva diferente para una comprensión más sólida y amplia de los fundamentos que conforman esta disciplina.

RECOMENDACIONES

El libro de Física Mecánica Experiencias y Aplicaciones es recomendado para su uso permanente en el laboratorio, ya que el texto está diseñado en el mismo orden temático del plan de asignaturas.

Se recomienda al estudiantado tomar una breve lectura antes de cada una de las experiencias de laboratorio, desarrollando cada uno de los ejercicios propuestos, estos les serán de gran ayuda para su desarrollo experimental.

Por otro lado, se recomienda realizar una lectura minuciosa por parte del docente en las actividades de la experiencia y una prueba de la práctica antes de la clase programada para no tener inconveniente con los equipos manipulados.

Cristian Solano Mazo

Físico y Magister en Física Aplicada. Docente e investigador de la Universidad de la Costa (Colombia) en la línea de síntesis y caracterización de materiales. Autor de varias publicaciones en síntesis y análisis de propiedades físicas de compuestos intermetálicos y películas delgadas semiconductoras.

David Vera Mellao

Físico y Magister en Física Aplicada. Docente e investigador de la Universidad de la Costa (Colombia) en la línea de síntesis y caracterización de materiales. Autor de varias publicaciones en propiedades ópticas en materiales semiconductores, y Neurociencia computacional.

Eliceo Cortes Gómez

Físico y Magister en Física. Docente e investigador de la Universidad de la Costa (Colombia) en la línea de modelamiento computacional. Autor de varias publicaciones en física de la materia condensada y óptica cuántica.

Aldemar De Moya Camacho

Físico, Magister en Ciencias Físicas y candidato a Doctor en Ciencias Naturales. Docente e investigador de la Universidad de la Costa (Colombia) en la línea de Ciencias, ingeniería y aplicación de nuevos materiales. Director de Departamento de Ciencias Naturales y Exactas.